



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie
und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung

Schlussbericht vom 18.10.2018

WP-GAP: Performance Gap bei Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpe – die Rolle der Betreiber



LEMON • CONSULT •
• ENERGY • EFFICIENCY • ENGINEERING •

econcept

Forschung / Beratung / Evaluation

ENERGIE
ZUKUNFT
SCHWEIZ

Datum: 18.10.2018

Ort: Zürich

Subventionsgeberin:

Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das
Bundesamt für Energie BFE
Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprogramm
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger:

Lemon Consult AG	econcept AG	Energie Zukunft Schweiz
Sumatrastrasse 10	Gerechtigkeitsgasse 20	Viaduktstrasse 8
8006 Zürich	8002 Zürich	4051 Basel
www.lemonconsult.ch	www.econcept.ch	www.energiezukunftschweiz.ch

Autoren/innen:

Roost Mario, Lemon Consult AG, roost@lemonconsult.ch
Ménard Martin, Lemon Consult AG, menard@lemonconsult.ch

Lehmann Meta, econcept AG, meta.lehmann@econcept.ch

Ott Walter, econcept AG, walter.ott@econcept.ch

Sitzmann Bernd, Energie Zukunft Schweiz, b.sitzmann@energiezukunftschweiz.ch

BFE-Programmleitung: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Projektbegleitung: Rolf Moser, moser@enerconom.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501480-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren/innen 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



Abstrakt / Résumé / Abstract

Suboptimal eingestellte Wärmepumpen-Anlagen führen zu unnötig hohem Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser. In der Studie wurden die Betriebseinstellungen von 81 Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern analysiert. Das Einsparpotenzial bei energetisch optimalen Einstellungen wurde pro Gebäude mit einem Modell ermittelt. Ein spezielles Augenmerk lag auf der Art und Häufigkeit der Legionellenpräventions-Schaltung und deren Einfluss auf den Energieverbrauch. Zudem wurde rechnerisch ermittelt, wie gross der zusätzliche Energiebedarf wäre, wenn die Norm SIA 385/1 gemäss Vernehmlassungsentwurf von 2016 neu immer 60° am Speicherausgang verlangen würde. Weiter wurde untersucht, was die Gründe für suboptimale Einstellungen und was die Hemmnisse für die Betriebsoptimierung in Mehrfamilienhäusern sind. Im Austausch mit Experten wurden Massnahmenvorschläge erarbeitet, die dazu beitragen können, dass mehr Wärmepumpenanlagen energetisch optimal betrieben werden.

Quand les systèmes de pompes à chaleur sont opérées sous l'optimum, ils entraînent une consommation inutilement élevée pour le chauffage et l'eau chaude. L'étude a analysé les paramètres opérationnels de 81 pompes à chaleur dans des maisons multifamiliales. Le potentiel d'économies avec des paramètres énergétiques optimaux a été déterminé avec un modèle. Une attention particulière a été accordée au type et à la fréquence de la prévention des légionelles et à leur influence sur la consommation d'énergie. En outre, il a été déterminé par calcul quelle serait la quantité d'énergie supplémentaire requise si la norme SIA 385/1 exigeait les 60 ° à la sortie du chauffe-eau comme avait prévu le projet mis en consultation en 2016. L'étude a également exploré les raisons de calibrages sous-optimaux et les obstacles à l'optimisation énergétique des maisons multifamiliales. Des mesures ont été élaborées en consultation avec des experts. Les mesures pourraient mener à une part plus élevée des systèmes de pompes à chaleur opérées d'une façon énergétiquement optimale.

Heat pump systems with suboptimal settings lead to unnecessarily high energy consumption for space heating and hot water. The study analysed the operational settings of 81 heat pumps in multi-family buildings. The saving potential of the current settings compared to energetically optimal settings was determined for each building with a model. Special attention was paid to the type and frequency of legionella prevention and its influence on energy consumption. In addition, the increase of energy consumption was assessed if the proposed guideline SIA 385/1 requiring 60° at the boiler outlet was implemented (guideline submitted to consultation in 2016). Furthermore, the study explored the reasons for suboptimal operational settings and the barriers to optimising heat pump operation in multi-family buildings. Measures have been developed in consultation with experts to increase heat pump performance by ensuring optimal settings during heat pump operation.



Inhalt

	Zusammenfassung	6
1	Ausgangslage und Fragestellung	15
1.1	Ausgangslage	15
1.2	Ziele der Arbeit	16
1.3	Vorgehen / Methode	17
2	Literaturanalyse und Vorgespräche	24
2.1	Verortung in der bestehenden Forschung	24
2.2	Bisherige Erkenntnisse zum Einsparpotenzial der verschiedenen Betriebskomponenten	27
2.3	Normen, Vorschriften und Studien zum Thema Legionellen	31
2.4	Hemmnissen für den energieoptimierten Betrieb	36
2.5	Bestehende Ansätze zur Förderung von Betriebsoptimierungen	45
3	Theoretische Grundlagen der Feldstudie	49
3.1	Untersuchungsgegenstand	49
3.2	Grundlagendaten	53
3.3	Veränderbare Anlagenparameter	55
3.4	Zusätzliche Analysen zur Legionellenkonzentration	58
4	Ergebnisse der Energie- und Betriebsanalysen	60
4.1	Beschreibung der einbezogenen Objekte	60
4.2	Deskriptive Analyse der Anlagedaten	62
4.3	Erkenntnisse aus der Befragung vor Ort	67
4.4	Anteil der grösseren MFH mit ineffizienten Einstellungen	72
4.5	Einsparpotenzial durch optimierte Einstellungen	74
4.6	Korrelation ineffiziente Einstellungen und überhöhter Energieverbrauch	77
4.7	Korrelation Legionellenschutz und JAZ	78
4.8	Zusatzauswertung: Mehrverbrauch Endenergie (Sollwerte 1-4)	79
4.9	Zusatzauswertung: Auswertung Legionellen-Beprobung	83
4.10	Hindernisse für Betriebsoptimierungen	84
4.11	Erkenntnisse aus den Betriebsoptimierungen	89
5	Übertragung der Erkenntnisse in die Praxis	91
5.1	Vorgehen	91



5.2	Beigezogene Experten	91
5.3	Massnahmen zur besseren Realisierung der Sparpotenziale	92
6	Diskussion und Schlussfolgerungen	111
6.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	111
6.2	Massnahmen zur Realisierung der Einsparpotenziale im Betrieb	111
6.3	Ausblick und mögliche Folgeprojekte	117
	Anhang	122
A-1	Berechnungsmodell und Vorgehen für die Berechnungen	122
A-2	Fragebogen zum Betrieb der Anlage	134
A-3	Muster einer Optimierungsempfehlung	136
	Literatur	138



Zusammenfassung

Für das Projekt wurden 81 Mehrfamilienhäuser mit Wärmepumpenanlagen für die Raumwärme und die Warmwasser-Aufbereitung besichtigt und die Anlageneinstellungen analysiert. Denn die Ziele der Studie waren:

- Ermittlung des energetischen Einsparpotenzials bei optimierten Einstellungen.
- Ermittlung des Einflusses der vorbeugenden Legionellenschaltung auf die Anlageeffizienz, inkl. des Effekts einer allfälligen Verschärfung der SIA-Norm 385/1 «Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen».
- Analyse der Hindernisse für energetische Betriebsoptimierungen von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern.
- Erarbeiten von Massnahmenvorschlägen zur Erschliessung des Einsparpotenzials.

Viele Anlagen sind nicht optimal eingestellt, aber wenige wirklich ineffizient

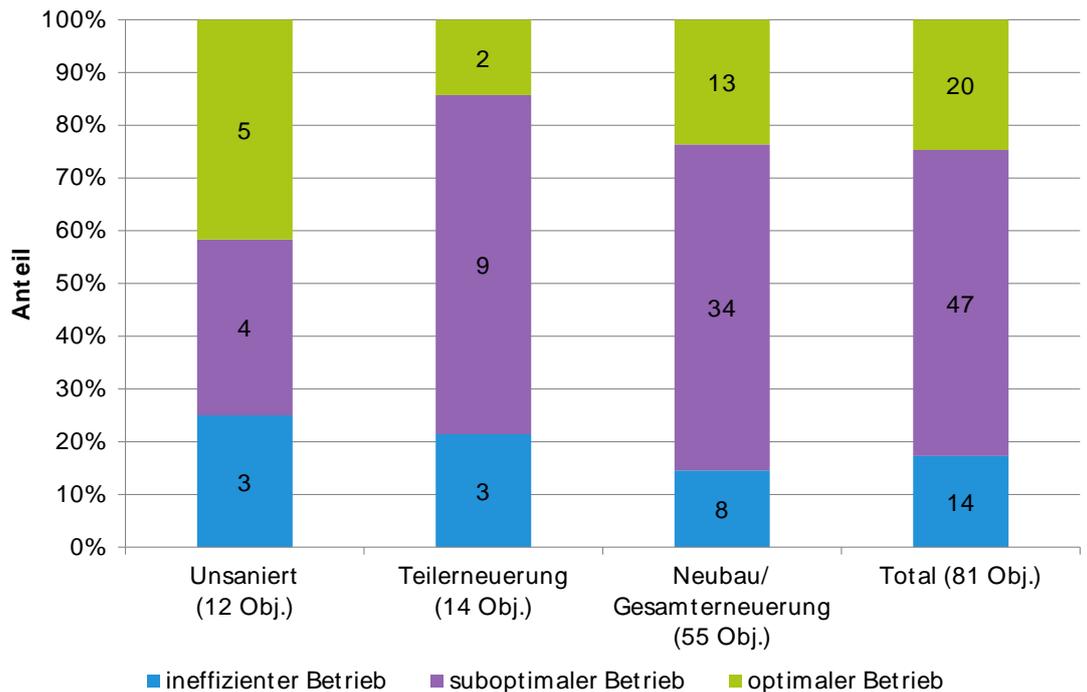
Die realisierbare Endenergieeinsparung wurde aus dem Vergleich der vorgefundenen Einstellungen mit den optimalen Anlagenparametern für einen energieeffizienten Betrieb ermittelt. Die untersuchten Objekte wurden anhand der realisierbaren Reduktion des Endenergieverbrauchs in die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Klassen eingeteilt.

Effizienzklassen	Realisierbare Endenergieeinsparung
Ineffizienter Betrieb	> 20 %
Suboptimaler Betrieb	> 10% bis 20 %
Optimaler Betrieb	<= 10 %

Tabelle 1: Definition der Effizienzklassen

Aus nachfolgender Figur wird ersichtlich, dass 25 % aller Anlagen im untersuchten Sample über eine optimale Einstellung verfügen. Bei knapp 20 % der Anlagen ist die Betriebsweise ineffizient. Die übrigen 55% der Anlagen liegen mit suboptimalen Einstellungen zwischen optimal und ineffizient.

Die häufigsten vorgefundenen Fehleinstellungen, die zu einer nicht effizienten Betriebsweise der Wärmepumpenanlagen führen, waren zu hoch eingestellte Heizkurven – meist Werkseinstellungen oder Heizkurven, die nach einer Dämmung der Gebäudehülle nicht abgesenkt wurden. Oder es waren falsch eingestellte Elektroheizeinsätze – beispielsweise überhöhte Temperaturen der Legionellenschaltung.



econcept

Figur 1: Übersicht der Effizienzklassen verteilt nach Gebäudekategorie.

Einige der untersuchten Wärmepumpenanlagen wurden durch den Stromsparfonds der Stadt Zürich gefördert. Diese Anlagen wurden nach dem ersten Betriebsjahr durch eine/n Mitarbeiter/in des Stromsparfonds besucht, die Effizienz der Anlage beurteilt und die Einstellungen wo notwendig optimiert. Aus diesem Grund wurden diese Anlagen zusätzlich separat ausgewertet. Es zeigte sich, dass bei diesen Anlagen der Anteil an ineffizient eingestellten Anlagen deutlich tiefer lag als bei den übrigen Objekten, nämlich bei 3% gegenüber 25% bei den nicht durch eine Förderstelle geprüften Anlagen. Dieses Ergebnis illustriert, wie wichtig und wirksam die Kontrolle der Betriebsweise von Anlagen ist.

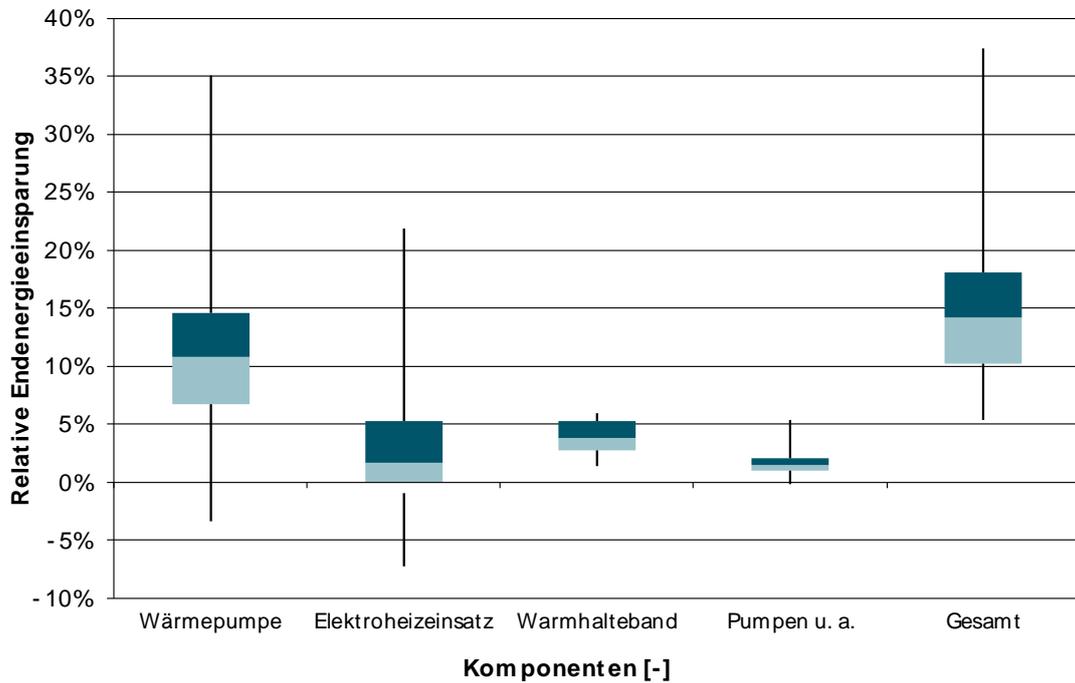
Einsparpotenzial von früheren Studien wird bestätigt

Der Median des vorgefundenen relativen Endenergieeinsparpotenzials lag bei 14% über alle untersuchten Objekte. In der nachfolgenden Figur ist das mit den optimierten Betriebsparametern erreichbare Einsparpotenzial des Endenergieverbrauchs pro untersuchte Anlagekomponente sowie für die Gesamtanlage (Boxplot ganz rechts) ersichtlich. Deutlich sichtbar wird bei der Komponentenbetrachtung der grosse Einfluss der Wärmepumpe und des Elektroheizeinsatzes.

Das Einsparpotenzial bei grösseren Wärmepumpenanlagen in Wohngebäuden liegt gemäss diesen Erkenntnissen in der Grössenordnung der Werte, die bereits in früheren Studien für kleinere Anlagen ermittelt wurden. Dass das Einsparpotenzial bei den untersuchten Anlagen nicht höher liegt, hat auch damit zu tun, dass bei den Optimierungsparmetern auf Grund der Praxiserfahrung des Projektteams eher konservative Werte angenommen wurden. Beim vollständigen Ausreizen des Potenzials einer spezifischen An-



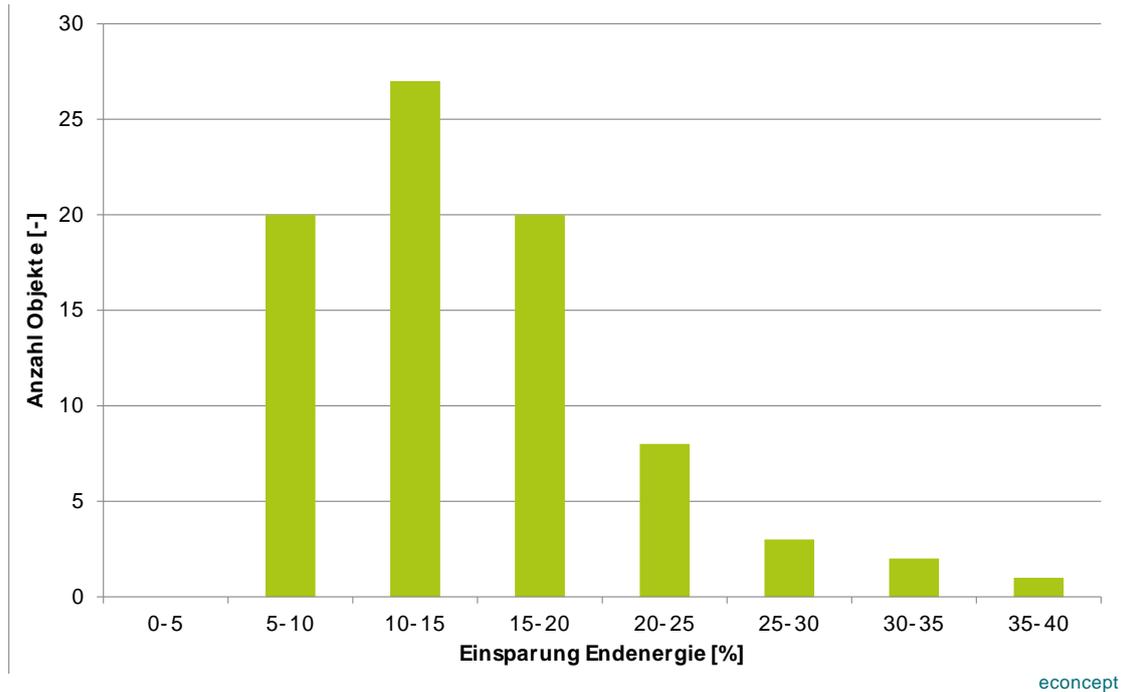
lage könnten progressivere Einstellungswerte und damit mehr Einsparungen erreicht werden.



econcept

Figur 2: Übersicht der Endenergieeinsparung für die Komponenten bei optimierten Betriebsbedingungen.

Die nachfolgende Figur stellt die Häufigkeitsverteilung der mit den optimierten Betriebsparametern erzielbaren Endenergieeinsparungen dar. Die meisten Objekte bewegen sich in einem Bereich von 5 bis 20 % Endenergieeinsparung. Es sind jedoch auch Ausreisser mit bis zu 40 % vorhanden.



Figur 3: Häufigkeitsverteilung der mit den optimierten Betriebsparametern erzielbaren Endenergieeinsparungen.

Auswirkungen einer ständigen Wassertemperatur von 60°

Der unterdessen zurückgezogene Vernehmlassungsentwurf der neuen SIA-Norm 385/1 «Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen» sah eine konstante Temperatur von 60° am Ausgang des Speichers vor. Würde diese Verschärfung umgesetzt, würden im Mittel sämtliche Einsparungen, die mit einem energieoptimierten Betrieb gemäss obigen Berechnungen erzielt werden könnten, mehr als rückgängig gemacht. Dies gilt bereits für den hypothetischen Fall, dass Warmwasser von 60° allein mit der Wärmepumpe generiert würde. Im realistischen Fall, in dem der Temperaturhub von 50° auf 60° mit einem Elektroheizeinsatz geleistet wird, würde der Mehrverbrauch noch viel höher ausfallen.

Hemmnisse für den optimierten Betrieb

Die nachfolgende Figur fasst die Erkenntnisse zu den Hemmnissen für energetisch optimal eingestellte Wärmepumpenanlagen zusammen. Die Erkenntnisse basieren auf Experteninterviews, Literaturrecherchen und der Befragung der Personen vor Ort im Rahmen der 81 Objektbegehungen. Durch die Erkenntnisse wird die Hypothese gestützt, dass die starke Arbeitsteilung und Spezialisierung rund um die Wärmepumpenanlagen von Planung bis Betrieb eine grosse Herausforderung für energetisch optimal betriebene Anlagen darstellt.



Hemmnisse für den energetisch optimierten Betrieb von Wärmepumpen in Wohngebäuden

Arbeitsteilung in der Gebäudebewirtschaftung

- Zahlreiche gleichzeitig Beteiligte (nicht abschliessend): Eigentümerschaft, kaufmännische Verwaltung, Hauswart/baulich-technische Verwaltung, Abrechnungsfirma VHKA, Servicefirma Heizung
- Informationen zu Gebäude, Nutzenden-Befindlichkeit, Energieverbrauch etc. sind zwar vorhanden, jedoch an unterschiedlichen Stellen.
- Niemand ist/fühlt sich für energieoptimierten WP-Betrieb zuständig. Hintergrund: wird von Eigentümerschaft nicht explizit eingefordert (siehe letzter Kasten).

Arbeitsteilung von Planung bis Betrieb

- Abfolge von Zuständigkeiten: Heizungsplaner/in, Heizungslieferant/in, Heizungsinstallateur/in, Inbetriebnahme-Ingenieur/in, Servicetechniker/in, Hauswart/in: Betriebsrelevante Informationen aus der Planung gelangen oft nicht zum Inbetriebnahme-Ingenieur, zu den Verantwortlichen vor Ort, zum Servicetechniker.

Missverständnisse

- Personen vor Ort meinen, Servicetechniker oder Heizungsinstallateur sind für energieoptimierten Betrieb zuständig. -> Aber Serviceverträge umfassen selten eine energetische Betriebsoptimierung (eBO).
- Ohne Informationen und Erfahrungen aus dem Betrieb ist eBO auch für Fachpersonen schwierig.

Informationslücken der Personen vor Ort

- Hauswarte/innen etc. sind keine WP-Fachpersonen.
- Es fehlen ihnen Informationen dazu, wie eine WP korrekt laufen müsste und wie das überprüft werden könnte.
- Schwer verständliche Steuerungsprogramme, Steuerungsinformationen z. T. im Servicebereich des Programms und damit nicht zugänglich.

Fehlender Problemdruck und falsche Anreize

- Die Energie ist zu günstig. Eine überhöhte Energierechnung wegen suboptimalen Betriebseinstellungen belastet das Budget der Wohnungsnutzenden nicht wahrnehmbar.
- Bei Mietwohngebäuden müsste die Eigentümerschaft die eBO bezahlen, während nur die Mieterschaft von den späteren Einsparungen profitiert.
- Die Verantwortlichen vor Ort profitieren mehr davon, wenn es keine Mieterreklamationen gibt (was bei Anpassungen an der Heizung befürchtet wird) als wenn die Energiekosten sinken.

econcept

Figur 4: Übersicht zu den Faktoren, welche verhindern, dass mehr Wärmepumpenanlagen energieoptimiert betrieben werden. eBO = energetische Betriebsoptimierung

Die in den ersten vier Kästchen der Figur beschriebenen Hemmnisse sind eher organisatorischer Natur und betreffen vor allem die Information und Kommunikation unter den Akteuren. Sie könnten wohl überwunden werden, wenn der Wille dazu vorhanden wäre. Der Wille müsste vor allem von den bestellenden Gebäudeeigentümerschaften manifestiert werden. Wie im letzten Kästchen der Figur beschrieben, liegt ein zentrales Problem dabei jedoch in den aktuell und bereits seit längerem tiefen Energiepreisen. Von den



Nutzenden kommt kein Druck, den Energieverbrauch mit optimalen Betriebseinstellungen zu senken, weil die laufenden Energiekosten einen nur geringen und wenig wahrgenommenen Anteil an den Miet- oder Wohnkosten ausmachen – erst recht bei neueren, gut gedämmten Gebäuden. Gleichzeitig profitiert die Eigentümerschaft einer Wohnliegenschaft nicht direkt von Energieeinsparungen, weil diese von den Bewohnenden mit den Nebenkosten bezahlt werden. Hinzu kommt, dass die Verantwortlichen vor Ort sogar Reklamationen und Probleme mit den Nutzenden riskieren, wenn im Zuge einer energetischen Betriebsoptimierung für die Einregulierung das Temperaturoptimum einmal unterschritten wird.

Massnahmen zur Realisierung der Einsparpotenziale

Auf Grund der Studienergebnisse wurden rund 20 Massnahmen formuliert, die zu energetisch besser eingestellten Wärmepumpenanlagen in Wohngebäuden führen sollen. Nachfolgende Figur fasst die vorgeschlagenen Massnahmen zusammen.

Die Eigentümerschaften, denen ein energieoptimierter Betrieb ihrer Wärmepumpenanlagen wichtig ist – unabhängig davon, ob sie selbst darin wohnen oder das Gebäude vermieten – sollen dabei unterstützt werden, eine optimal eingestellte Anlage zu bestellen und gegenüber den involvierten Fachpersonen einzufordern sowie die vorgefundenen Einstellungen im Hinblick auf einen effizienten Betrieb einzuschätzen. Für die Verantwortlichen vor Ort (Hauswarte/innen, Eigentümerschaften o. ä.), die sich persönlich um eine energetisch optimal betriebene Anlage kümmern möchten, sollen niederschwellige Unterstützungsangebote zur Verfügung gestellt werden. Diese beiden Zielsetzungen werden insbesondere durch die Massnahmen 1, 3 und 6 in der nachfolgenden Figur gefördert. Mit diesen Massnahmen unterstützt man die Akteure, die bereits willens sind, sich um energetisch optimal betriebene Anlagen zu bemühen. Das Projektteam empfiehlt, einen Fokus auf solche Massnahmen zu legen. Massnahme 5 würde die Planenden stärker in die Pflicht nehmen und dafür sorgen, dass die Überlegungen aus der Planung den Weg in den Dauerbetrieb besser finden.

Als weiteren wichtigen Punkt sieht das Projektteam den Austausch mit den Wärmepumpenherstellern (Massnahme 11). Sie sollten dazu motiviert werden, ihre Steuerungssysteme und -begriffe so weit zu vereinheitlichen und transparent zu machen, dass der Umgang mit den Anlagen sowohl für Experten/innen wie auch für Nicht-Fachpersonen erleichtert wird.

Bezüglich der Massnahmen für mehr Anreize für Betriebsoptimierungen steht vor allem Massnahme 16 im Zentrum: Es sollte möglich werden, dass die Kosten für energetische Betriebsoptimierungen mittelfristig auf die Mietnebenkosten überwält werden können. Denn es sind die Mietenden, die von den daraus folgenden Kosteneinsparungen profitieren würden. Für die Überwälzung muss ein Modus gefunden werden, hinter dem auch der MieterInnen-Verband stehen kann. Sonst dürfte eine Verordnungsanpassung kaum Chancen haben.



Die Berechnungen im Rahmen der Studie zeigen, dass eine Verschärfung der Norm SIA 385/1 dahingehend, dass immer 60° am Ausgang des Warmwasserspeichers einzuhalten wären, zu einer massiven Erhöhung des Energiebedarfs für das Warmwasser führen würde. Weil bisher keine wissenschaftlich gesicherten Erkenntnisse dazu vorliegen, dass mit dieser Verschärfung Legionärskrankheits-Fälle verhindert werden, wurde Massnahme 12 formuliert. Sie empfiehlt, vor einer Verschärfung der Norm den Zusammenhang von Warmwassertemperatur, Warmhaltungssystem, Ausstossleitungen, Zapfverhalten und Legionellenkontamination bzw. -erkrankungen vertieft wissenschaftlich untersuchen zu lassen.

Eigentümerschaften befähigen (Bestellerkompetenz) M1 Senibilisierung, Zugänglichkeit Infos, Ergänzung Leistungs-Garantie-Karte M2 Textvorlagen für Hauswartung/FM-verträge M3 Entwickeln und Bekanntmachen von «Selbstdiagnose»-Instrument und «Anlage-Journal» M4 eBO-Infos an Bezüger/innen von Gebäudeprogramm-Geldern	Verantwortliche vor Ort befähigen M3 Entwickeln und Bekanntmachen von «Selbstdiagnose»-Instrument und «Anlage-Journal» M6 Kommunikationskampagne für Selbstverwaltende und Hauswarte/innen M18 Betriebs-Optimierungs-App entwickeln
Heizungsplanende einbinden M5 Norm-Verträge für Planende zur Begleitung der Anlage bis in den Betrieb M15 Inbetriebnahmevorgaben inkl. Fall Bauaustrocknung	Wärmepumpen-Hersteller einbinden M10 Diskussion Zuständigkeiten für eBO M11 Koordination Begrifflichkeiten und Steuerungsebenen M14 Auslesbare Messdaten ab WP 20 kW M15 Inbetriebnahmevorgaben inkl. Fall Bauaustrocknung M17 Kontrollmechanismen Elektroheizeinsätze
Hauswarte und Verwaltung/FM einbinden M6 Komm.kampagne für Selbstverwaltende und Hauswarte/innen M7 Hauswart-Imagekampagne, Aus- und Weiterbildung M8 Pilotprojekt Hauswarte mit gr. Verwaltung M9 Label nachhaltiges FM o. ä.	Regulatorisches Umfeld anpassen M12 Mehr Forschung zu Legionellen vor Verschärfung SIA 385/1 M13 Anpassung Vollzugsvorschriften falls SIA 385/1 verschärft wird M14 Auslesbare Messdaten ab WP 20 kW M16 Energetische Betriebsoptimierung in Miet-Nebenkosten aufnehmen
Finanzielle Anreize anpassen M16 Energetische Betriebsoptimierung in Miet-Nebenkosten aufnehmen M19 Fördergelder für grössere WP nur noch mit Messinstrumenten und Einregulierung	

econcept

Figur 5: Übersicht zu den 19 Massnahmenvorschlägen (M1 bis M19) geordnet nach Zielgruppe und Thema, blau: Befähigung, rot: Einbindung, gelb: Anpassung regulatorische Rahmenbedingungen; Die Tabelle mit den Massnahmen inklusive einer Bewertung findet sich ab Seite 112 im Bericht.



Ausblick

Nachfolgend wird skizziert, welche zukünftigen Aktivitäten das Projektteam auf Grund der Studienergebnisse in einem ersten Schritt als zielführend erachtet:

- Gezielte, empirische Forschung zum Zusammenhang von Legionellenerkrankungen und Brauchwarmwassersystemen mit dem Ziel, belastbare Grundlagen für die Überarbeitung der SIA-Norm 385/1 zu schaffen.
- Forschung und Pretests zu verständlichen Wärmepumpen-Steuerungen und Haus-technik-Anleitungen und -Erklärungen im Hinblick auf eine Vereinheitlichung der Steuerbegriffe und -darstellungen und im Hinblick auf Hilfsmittel für interessierte Laien.
- Kampagne zur Sensibilisierung und Befähigung von interessierten Eigentümerschaften und Verantwortlichen vor Ort inkl. Bezüger/innen von Gebäudeprogramm-Fördergeldern.
- Vorarbeiten zur Einbindung der Wärmepumpenhersteller in die Bemühungen um energetisch optimal eingestellte Anlagen.
- Evaluation von bestehenden Angeboten und Verbreitung von Inbetriebnahmekursen für Hauswarte/innen. Integration der Betriebsoptimierung von Wärmepumpenanlagen in bestehende Aus- und Weiterbildungsangebote für Hauswarte/innen.
- Systematische Prüfung der Möglichkeiten, Voraussetzungen und des Vorgehens um mittelfristig die Kosten von energetischen Betriebsoptimierungen in die Miet-Nebenkosten überführen zu können.
- Prüfung der Möglichkeiten im Harmonisierten Fördermodell der Kantone vorzugeben, dass eine zweite Fördergeldtranche immer erst nach dem Nachweis einer Einregulierung der Wärmepumpenanlage ausbezahlt wird.

Take-home messages

- Es gibt wenige ganz schlecht eingestellte Wärmepumpen-Anlagen aber viele, bei denen die Einstellungen nicht energetisch optimiert sind. Im Median beträgt das realistische Einsparpotenzial 14% des Endenergieverbrauchs.
- Art und Häufigkeit der vorbeugenden Legionellenschaltungen haben grossen Einfluss auf den Endenergieverbrauch der Anlagen.
- Der Betrieb der Wärmepumpen-Anlagen in grösseren Wohngebäuden wird hauptsächlich durch die Servicetechniker/innen der Hersteller begleitet. Eine energetische Optimierung ist in diesen Service-Angeboten in der Regel nicht enthalten.



- Zwei Stossrichtungen würden die Voraussetzungen verbessern, dass mehr Wärmepumpenanlagen in grösseren Wohngebäuden energetisch optimiert eingestellt sind:
 - Kooperation mit und Verständigung unter den Anlageherstellern für einheitlichere und einfacher verständliche Steuerungen.
 - Niederschwellig zugängliche und einfach verständliche Informationen für interessierte Verantwortliche vor Ort, was ihr Handlungsspielraum ist und wie sie diesen für einen energieeffizienten Betrieb nutzen können.



1 Ausgangslage und Fragestellung

1.1 Ausgangslage

In der BFE-Studie «Erfolgskontrolle Gebäudeenergiestandards 2014-2015» (Reimann et al. 2016) hat sich gezeigt, dass neue Mehrfamilienhäuser deutlich mehr Energie verbrauchen als in der Planung berechnet bzw. als gemäss ihrem Gebäudeenergiestandard vorgesehen. Dieser Befund wird auch durch eine Analyse des Schweizerischen Verbands für Wärme- und Wasserkostenabrechnung (SVW/ASC 2016) bestätigt.

Beobachtungen im Rahmen der Gebäudebegehungen für die «Erfolgskontrolle Gebäudeenergiestandards 2014-2015» legen die Vermutung nahe, dass konservative Einstellungen von Heizungsregelung, Elektroheizstäben und Begleitbandheizungen wesentlich zum so genannten Performance Gap von Mehrfamilienhäusern beitragen. Neben dem viel zitierten Nutzereffekt (interne Wärmelasten, Fensterlüftung, Sonnenschutz im Winter, Warmwasserverbrauch) kommt bei Mehrfamilienhäusern somit der «Betreibereffekt» als Ursache für einen überhöhten Energieverbrauch hinzu. Erfahrungen mit Betriebsoptimierungen und Heizungschecks zeigen, dass Hauswarte mit der Bedienung von Wärmepumpenanlagen oft überfordert sind und die Einstellungen den Servicefirmen überlassen. Da die Bearbeitung von Reklamationen einen Mehraufwand generiert, werden viele Anlagen übertrieben konservativ eingestellt und betrieben, mit negativen Auswirkungen auf die Energieeffizienz. Bei professionell verwalteten Mehrfamilienhäusern stellt sich die Frage, wer für die energetische Optimierung des Anlagebetriebs überhaupt zuständig ist. Durch die starke Ausdifferenzierung von Eigentümer, Verwaltung, Hauswartung, allenfalls technischer Dienst und Servicefirmen oder anderen Subunternehmern besteht die Herausforderung darin, die involvierten Personen überhaupt für eine Optimierung des Wärmepumpenbetriebs zu gewinnen. Eine zentrale Rolle spielen dabei auch die Hersteller mit ihren unterschiedlichen Servicevertragsangeboten.

Wärmepumpen sind momentan die zentrale Technologie um von fossilen Energieträgern wegzukommen. Werden die immer zahlreicheren Wärmepumpen jedoch ineffizient betrieben, besteht die Gefahr, dass sie ihren zugeordneten Beitrag an die Energiestrategie 2050 nicht leisten können. Bei den Wärmepumpen besteht zudem im Gegensatz beispielsweise zu Gasheizungen die Problematik, dass sie umso ineffizienter arbeiten je höher die zu erreichende Temperatur ist. Deshalb wirken sich beispielsweise zu hoch eingestellte Warmwassertemperaturen im Boiler doppelt negativ auf den Energieverbrauch einer Wärmepumpenanlage aus.

Bedeutende Auswirkungen auf den Energieverbrauch von Wärmepumpenanlagen haben auch die verschärften Anforderungen an den Legionellenschutz. Während lange eine wöchentliche Desinfektion von Speicher und Zirkulation üblich war, werden seit einigen Jahren vom Bundesamt für Gesundheit BAG und in der SIA-Norm 385/1 bei Mehrfamili-



enhäusern eine tägliche Desinfektion während einer Stunde bei Temperaturen von mindestens 60°C gefordert.

1.2 Ziele der Arbeit

Das vorgeschlagene Projekt hat folgende Ziele:

- Analyse der Bedeutung von Heizungs- und Warmwasser-Einstellungen und des Legionellenschutzes auf den Energieverbrauch der Wärmepumpe und der Zusatzaggregate (Elektroheizstab u. ä.) bei Mehrfamilienhäusern.
- Ermittlung des Sparpotenzials bei optimierten Einstellungen.
- Analyse der Hindernisse für energetische Betriebsoptimierungen von Wärmepumpen im Mehrfamilienhausbereich.
- Verbesserungspotenziale und zugehörige Massnahmen zu deren Erschliessung.
- Empfehlungen.

Das Projekt fokussiert auf Mehrfamilienhäuser (Neubauten und Sanierungen). Damit ergänzt es die bereits vorhandenen Studien zum Betrieb von kleineren Wärmepumpen (Einfamilienhäuser bis kleinere Mehrfamilienhäuser), die oft im Bereich des Heizungsersatzes im Bestand durchgeführt wurden.

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Frage 1: Bei welchem Anteil der grösseren Mehrfamilienhäuser mit Wärmepumpe muss mit ineffizienten Einstellungen der Wärmepumpe und der Zusatzaggregate für Warmwasser gerechnet werden?
- Frage 2: Welches energetische Einsparpotenzial geht von optimierten Einstellungen unter Einhaltung der objektspezifischen Anforderungen an Komfort und Legionellenschutz aus?
- Frage 3: Welches sind die Hindernisse für Betriebsoptimierungen bei Mehrfamilienhäusern?
- Frage 4: Welche Verbesserungen der Rahmenbedingungen bzw. welche Massnahmen können zur Realisierung der Sparpotenziale durch optimierte Betriebseinstellungen bei Wärmepumpen und Zusatzaggregaten führen?

Nicht behandelt werden in der Studie der Beitrag von Planungsfehlern (hydraulische Schaltung, Dimensionierung der Komponenten) und des Nutzerverhaltens (Raumtemperatur, Lüftungsverhalten, Einsatz des Sonnenschutzes, Warmwasserverbrauch) zum Performance Gap von Mehrfamilienhäusern.



Im Rahmen eines Zusatzprojektes wird zudem für alle untersuchten Objekte der theoretische zusätzliche Endenergieverbrauch zur Einhaltung der Hygieneanforderungen nach SIA 385/1:2011 bzw. SIA 385/1:2016-Entwurf (Normenentwurf mit Vernehmlassungsfrist bis 15.9.2016) berechnet (vgl. nächste Fussnote und Kap. 1.3.1).

1.3 Vorgehen / Methode

1.3.1 Überblick zum Vorgehen und den angewandten Methoden pro Frage

Das Forschungsprojekt startete mit Literatur- und Dokumentenanalysen und explorativen Gesprächen mit Akteuren aus der Praxis. Der Fokus des Projekts lag auf der Begehung von ca. 80 Mehrfamilienhäusern in der Stadt Zürich sowie in den Kantonen Basel-Stadt, Basel-Landschaft und im Kanton Solothurn.

Im Rahmen von Objektbegehungen wurden die Einstellungen der Heizungsregelung und der Zusatzaggregate erhoben und anschliessend im Hinblick auf ein mögliches Optimierungspotenzial beurteilt. Zudem wurden die Leistungsaufnahmen der Wärmepumpen und der Zusatzaggregate ermittelt, die Elektro- und Wärmezähler abgelesen und wo sinnvoll temporäre Temperaturfühler zur Validierung der ausgelesenen Parameter installiert. Im Herbst 2017 wurden Optimierungsempfehlungen an die Gebäudeeigentümer/innen versandt (siehe Anhang A-3). Die Eigentümerschaften wurden im Frühjahr 2018 erneut per online-Umfrage oder telefonisch kontaktiert und nach dem Stand der Umsetzung sowie nach den Erfahrungen mit den Optimierungsvorschlägen gefragt.

Die Begehungen zeigten, dass ca. zwei Drittel der untersuchten Anlagen über keine Legionellenschaltung verfügen. Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussion betreffend dem Nutzen-Risiko-Verhältnis der Anforderungen an den Legionellenschutz wurde im Rahmen eines Zusatzprojektes für alle untersuchten Objekte der theoretische Mehrverbrauch an Endenergie zur Einhaltung der Hygieneanforderungen nach SIA 385/1:2011 und zum Vernehmlassungsentwurf zur neuen SIA 385/1¹ (nachfolgend jeweils SIA 385/1:2016-Entwurf genannt) berechnet. Des Weiteren wurden acht Anlagen, welche die Hygieneanforderungen nach SIA 385/1:2011 nicht einhalten, auf eine Kontamination mit Legionellen untersucht.

Mit den Daten aus den Begehungen wurden die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlagen sowie der Anteil der Zusatzaggregate (Heizstäbe, Begleitbandheizungen, Zirkulationspumpen) am Stromverbrauch berechnet, ebenso die ungewichtete Energiekennzahl der Gebäude. Die Energiekennzahl wurde mit den von heutigen Neubauten angestrebten Energiebedarfswerten verglichen. Zudem wurde berechnet, wie viel Energie mit der Op-

¹ Der Vernehmlassungsentwurf zur neuen SIA 385/1 mit einer Vernehmlassungsfrist bis am 15.9.2016 wurde schliesslich von der zentralen Normkommission abgelehnt und muss nun überarbeitet werden (gemäss Mailauskunft von Rita Kobler am 11.7.2018). Im Text wird die zurückgezogene Version aus der Vernehmlassung mit SIA 385/1:2016-Entwurf bezeichnet.



timierung der angetroffenen Einstellungen gespart werden könnte. Damit wurde der in diesem Projekt im Zentrum stehende «Betriebs»-Performance-Gap ermittelt (Details vgl. Kapitel 3.1.3 «Definition Betriebs-Performance Gap »).

Nachdem das Einsparpotenzial lokalisiert und beziffert war, wurden Vorschläge erarbeitet, wie die Rahmenbedingungen zur Realisierung dieses Potenzials beim Betrieb von Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpen generell verbessert werden können.

Die Resultate und Empfehlungen werden im vorliegenden Schlussbericht festgehalten.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Fragestellungen 1 bis 4, welche gemäss Projektantrag im Projekt bearbeitet wurden, führt aus, mit welchen Indikatoren sie beantwortet werden und welche Erhebungsmethoden dazu geplant waren. Die Fragestellungen des Zusatzprojekts zum theoretischen Mehrverbrauch bei einer Verschärfung der SIA 385/1 sind in der Tabelle nicht erfasst, weil es sich um die Aufstellung gemäss ursprünglichem Forschungsantrag handelt.



Nr.	Frage	Indikatoren	Erhebungsmethode
1	Bei welchem Anteil der Mehrfamilienhäuser mit Wärmepumpe muss mit suboptimalen bis ineffizienten Einstellungen der Wärmepumpe und der Zusatzaggregate für Warmwasser (Heizstäbe, Begleitbandheizung, Warmwasser-Zirkulationspumpe) gerechnet werden?	Einteilung aller Objekte in «optimaler Betrieb», «suboptimaler Betrieb», «ineffizienter Betrieb» auf Grund des ermittelten Einsparpotenzials bei optimierten Einstellungen.	Begehung von 80 Objekten während der Heizsaison. Zur Erfassung von: - Heizungsregelung (Heizkurve, Heizgrenze, Leistungsaufnahme WP) - Betriebszeiten und Leistungsaufnahme von Elektroheizstab, Begleitbandheizung und WW-Zirkulationspumpen - bei Bedarf (Verdacht hoher Stromverbrauch) Installation temporäre Leistungsmessungen - Ablesen der Strom- und Wärmehzähler. Berechnung des Energieverbrauchs pro Aggregat
2.1	Welches energetische Einsparpotenzial geht von optimierten Einstellungen aus, unter Einhaltung der Anforderungen an den Legionellenschutz und die Ausstosszeiten?	Einsparpotential: Differenz des aktuellen jährlichen Energieverbrauchs der Wärmepumpenanlage zum berechneten Energieverbrauch nach der Optimierung der Einstellungen. Zusätzlich berechnetes Potenzial differenziert nach Aggregat (WP, Heizstäbe, Begleitbandheizung, Zirkulationspumpe).	Berechnung des Energieverbrauchs der Wärmepumpenanlage aktuell auf Grund der für Frage 1 erhobenen Stromverbrauchsdaten. Berechnung des Einsparpotenzials mit dem bestehenden Wärmepumpen-BO-Tool von Lemon Consult differenziert nach Aggregat.
2.2	Besteht eine Korrelation zwischen einer überhöhten Energiekennzahl und ineffizienten Betriebseinstellungen?	Energiekennzahl Gebäude und berechnetes Einsparpotential	Korrelation der für Frage 1 und 2.1 erhobenen Indikatoren
2.3	Besteht eine Korrelation zwischen der Art des Legionellenschutzes und der Jahresarbeitszahl bzw. der Energiekennzahl?	Art des Legionellenschutzes (wöchentlich, täglich, permanent, Frischwasserstation, Begleitbandheizung etc.), Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage, Energiekennzahl des Gebäudes	Korrelation der für Frage 1 und 2.1 erhobenen Indikatoren
3	Welches sind die Hindernisse für Betriebsoptimierungen bei Mehrfamilienhäusern?	Differenziert in Frage 3.1, 3.2 und 3.3	
3.1	Inwiefern hemmt die starke Segmentierung der Verantwortlichkeiten beim Gebäudebetrieb bei MFH, dass sich jemand der energetischen Betriebsoptimierung annimmt?	Beschreibung der Akteurstrukturen (in einem Gebäude-Organigramm) und Einschätzung der Akteure	- Literatur- und Dokumentenanalyse - 3 leitfadengestützte explorative Interviews mit Akteuren aus der Gebäude-Bewirtschaftungspraxis - Strukturierte Befragung der 80 Technikverantwortlichen bei der Begehung der Objekte zur Begründung der vorgefundenen Einstellungen und zu Hindernissen für die laufende Optimierung im Betrieb.
3.2	Inwiefern hemmen offizielle Empfehlungen, Richtlinien und Normen die energetische Betriebsoptimierung?	- Einschätzung der Akteure	wie 3.1 plus 2 weitere leitfadengestützte Interviews (Vertreter SIA und BO-Experte)
3.3	Welche anderen Faktoren hemmen die energetische Betriebsoptimierung?	- Einschätzung der Akteure	siehe 3.1 und 3.2 plus bei Bedarf 2 weitere leitfadengestützte Interviews
4	Welche Massnahmen	Beschreibung möglicher Förderan-	- Literatur- und Dokumentenanalyse



Nr.	Frage	Indikatoren	Erhebungsmethode
	können zur Realisierung der Sparpotenziale durch optimierte Betriebseinstellungen bei Wärmepumpen und Zusatzaggregaten führen?	sätze und Einschätzung der Akteure	- Hinweise aus den Interviews zu den Hemmnissen (vgl. 3.1 bis 3.3) - 5 leitfaden gestützte Interviews mit Fachpersonen

Tabelle 2: Fragen, Indikatoren und Erhebungsmethoden

Nachfolgend werden die einzelnen Vorgehensschritte kurz beschrieben.

1.3.2 Interviews zur Klärung der Voraussetzungen

Ergänzend zu den Dokumentenanalysen und der Literaturrecherche wurden in einem ersten Schritt mehrere kürzere Telefongespräche und fünf längere explorative Interviews geführt. Ziel der Gespräche mit verschiedenen Fachleuten aus Theorie und Praxis war ein umfassendes Verständnis der Ausgangslage und der hemmenden und fördernden Faktoren für energetisch optimiert betriebene Wärmepumpenanlagen in Wohngebäuden.

Mit folgenden Personen wurden kürzere, klärende Telefongespräche geführt.

- Beat Stemmler, ISS Facility Services, Leiter Excellence Center Sustainability & Energy
- Roland Stadelmann, Geschäftsführer energo
- Markus Hubbuch, ZHAW Life Sciences und Facility Management
- Pasquale Buccoliero, Technische Planung und Projektmanagement, Schulungsleiter, Stiebel Eltron AG

Mit den nachfolgenden Personen wurden leitfadengestützte Interviews geführt (telefonische oder persönliche Interviews):

- Urs Stöckli (Bau und Planung) und Erwin Röthlisberger (Betrieb und Wartung) von AIT (Vertreter eines Wärmepumpen Herstellers)
- Marco Nani von Hoval (Vertreter eines Wärmepumpen Herstellers)
- Jürg Nipkow, Präsident SIA-Kommission 385
- Patrick Küttel, DM Energieberatung (Fachperson für Betriebsoptimierungen)
- Reto von Euw, Dozent am Zentrum für Integrale Gebäudetechnik der Hochschule Luzern und Franziska Rölli, Wissenschaftliche Mitarbeiterin (Forschende im Bereich Gebäudetechnik und Luft- und Wasserhygiene)

Die Erkenntnisse aus den explorativen Gesprächen flossen ins Kapitel 2 «Literaturanalyse und Vorgespräche» ein und fanden Ausdruck in der Ausgestaltung des



Erhebungstools und im Kurzfragebogen, welchen die Ansprechpersonen vor Ort im Rahmen der Begehung ausfüllten.

1.3.3 Adressbeschaffung

Adressen Stadt Zürich: via Stromsparfonds

In der Stadt Zürich wurde die Erstellung von Wärmepumpen zwischen 1991 und 2016 mit Geldern aus dem Stromsparfonds gefördert. Die Kontakt- und Anlagendaten der geförderten Anlagen werden durch ewz in einer Datenbank verwaltet. Diese Datenbank bildete die Grundlage für den Zugang zu den Objekten in Zürich.

Die in der Datenbank vorhandenen Objekte wurden anhand der in Kapitel 3.1.1 genannten Kriterien gefiltert. Aus Datenschutzgründen konnten deren Eigentümerschaften nicht direkt durch das Projektteam kontaktiert werden. ewz erstellte daher ein Empfehlungsschreiben, um die Eigentümer zu motivieren bei der Studie teilzunehmen und sich beim Projektteam zu melden.

Von den angeschriebenen Eigentümerschaften gingen 31 Interessensbekundungen zur Teilnahme an der Studie ein. Stellenweise war dieselbe Eigentümerschaft für mehrere Liegenschaften zuständig (z. B. Genossenschaften). Einige der Eigentümerschaften verfügten zudem über weitere Liegenschaften mit Wärmepumpenanlagen, welche die Anforderungen für die Teilnahme an der Studie erfüllten, jedoch nicht über den Stromsparfonds gefördert worden waren. Auch diese wurden in das Objektsample aufgenommen.

So konnten schliesslich 42 Objekte in Zürich für die Teilnahme am vorliegenden Projekt gewonnen werden.

Adressen Nordwestschweiz

Im Kanton Basel-Landschaft erhielt das Projektteam vom Kanton die Adressen der geförderten Sole-Wärmepumpen. Aus dieser Liste wurden alle Adressen von Mehrfamilienhäusern extrahiert. Mit Hilfe von Daten der betroffenen Energieversorgungsunternehmen EBL und EBM wurde ermittelt, welche Anlagen über einen separaten Stromzähler für die Wärmepumpe verfügen. Auf diese Weise konnten 22 geeignete Adressen ermittelt werden.

Im Kanton Basel-Stadt lagen die Adressen von geförderten Sole-Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern aus einem früheren Qualitätskontrolle-Projekt von Energie Zukunft Schweiz bereits vor (Sitzmann 2016). Das Interesse der Eigentümerschaften war jedoch gering. Gründe dafür waren, dass bereits vor einem Jahr eine Begehung im Rahmen des Qualitätskontrolle-Projekts stattgefunden hatte und dass es sich oft um extern verwaltete Miet-Liegenschaften handelt, bei denen das Interesse für eine energetische Betriebsoptimierung gering ist. Es konnten nur sechs Mehrfamilienhäuser in die Studie aufgenommen werden.



Im Kanton Solothurn hat die Energiefachstelle potentielle Interessenten mit Wärmepumpenanlagen brieflich kontaktiert. Im Schreiben wurde das Projekt vorgestellt und zur Teilnahme motiviert. Nur vier Eigentümerschaften meldeten sich auf den Aufruf. Deshalb hat anschliessend das Energieversorgungsunternehmen AEK in Solothurn das Projektteam unterstützt, indem dem Team Adressen von Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpe und separatem Stromzähler übergeben wurden. Auf das Schreiben des Projektteams meldeten sich acht Eigentümerschaften zur Teilnahme.

Damit konnten auch in der Nordwestschweiz 39 Objekte einbezogen werden.

1.3.4 Terminvereinbarung und Begehungen

Die Begehungstermine wurden telefonisch mit der Eigentümerschaft oder deren Vertretung vereinbart. Es wurde angestrebt, dass die Begehung in Anwesenheit einer für den Betrieb der Wärmepumpenanlage zuständigen Person durchgeführt wird.

Während der Begehung wurden diverse Parameter der Anlage und Eigenschaften des Gebäudes aufgenommen und dokumentiert. Dazu wurde ein Excel-basiertes Erhebungstool entwickelt, von welchem die eingetragenen Daten zu einem späteren Zeitpunkt über eine Makrofunktion direkt in das Berechnungstool importiert wurden.

Ergänzend wurden der anwesenden Person ein Fragebogen abgegeben (siehe Anhang A-2) und einige weitere Fragen zum Betrieb der Anlage gestellt. Wo dies nicht möglich war oder die anwesende Person keine Antwort auf die Fragen wusste, wurden diese nach Möglichkeit zu einem späteren Zeitpunkt telefonisch oder per Email über eine dritte Person (z. B. von der Verwaltung) geklärt.

Wo möglich wurden die Begehungen während der Heizperiode durchgeführt. Aus zeitlichen Gründen war dies nicht für alle Objekte möglich. Da während der Begehung nur Parameter aufgenommen und nicht verstellt wurden, hat der Zeitpunkt der Begehung keinen Einfluss auf das Resultat der Studie. Die Begehungen fanden im Zeitraum vom Februar bis Mai 2017 statt.

1.3.5 Auswertung

Die Berechnungen und Auswertungen der Daten erfolgten in einem auf Excel basierenden Berechnungstool. Die verwendeten Berechnungsmodelle orientieren sich teilweise an bereits vorhandenen Modellen (z. B. WPEsti) und teilweise an Modellen, die durch die Projektgruppe entwickelt wurden (siehe Anhang A-1.4).

Im Rahmen der Studie wurden primär die Parameter der Wärmepumpenanlagen und deren Einfluss auf die Effizienz untersucht und ausgewertet. Der Fokus lag dabei auf der Erzeugung des Warmwassers (Warmwassertemperatur, Temperaturhochhaltung im Verteilnetz) und der Raumwärme (Heizkurve, Heizgrenze). Planerische oder konstruktive



Fehler an der Anlage wurden nicht betrachtet. Die Anlagenparameter wurden zudem deskriptiv ausgewertet.

1.3.6 Leitfaden gestützte Interviews betreffend Übertragung in die Praxis

Das Projektteam erarbeitete auf der Basis der bisherigen Erkenntnisse Vorschläge für Handlungsansätze, wie es gelingen könnte, dass mehr Wärmepumpenanlagen in Wohngebäuden energetisch optimal betrieben werden. Diese Vorschläge wurden fünf Fachpersonen aus verschiedenen Branchen und Bereichen vorgelegt. In einem Telefoninterview wurden die Vorschläge mit den Experten diskutiert und ihre Rückmeldungen dazu aufgenommen. Davon ausgehend bereinigte das Projektteam die Handlungsansätze zuhanden dieses Schlussberichts.

1.3.7 Begleitgruppe und Schlussberichterstattung

Die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt werden im vorliegenden Schlussbericht dokumentiert und in der Synthese kommentiert.

Das Forschungsprojekt wurde durch eine Projektleitung von Seiten des Bundesamts für Energie in der Person von Rolf Moser, enerconom AG, betreut. Zudem stellte eine Begleitgruppe sicher, dass die praxisrelevanten Punkte berücksichtigt und die Erfahrungen aus der Praxis einbezogen werden. Die Arbeiten wurden an drei Sitzungen mit der Begleitgruppe diskutiert: Die Begleitgruppe traf sich zu Beginn des Projekts zur Diskussion des Detailkonzepts mit Befragungsparametern, geplantem Vorgehen und Zielsetzungen. Eine zweite Sitzung fand zur Diskussion der Resultate aus den Begehungen statt. Die letzte Sitzung diente der Diskussion des Schlussberichts und der daraus abzuleitenden Empfehlungen.

Mitglieder der Begleitgruppe:

- Rolf Moser, enerconom, Leiter Forschungsprogramm Energie in Gebäuden, Projektleitung von Seiten des Bundesamtes für Energie
- Stefan Lutz, Amt für Hochbauten Stadt Zürich
- Reto Burkhart, ewz, Bereich Energiedienstleistungen
- Beat Stemmler, ISS Facility Services AG, Leiter Excellence Center Sustainability & Energy



2 Literaturanalyse und Vorgespräche

Das nachfolgende Kapitel fasst die Ergebnisse aus der Literaturanalyse und den explorativen Gesprächen mit verschiedenen Personen aus Theorie und Praxis zusammen.

2.1 Verortung in der bestehenden Forschung

2.1.1 Untersuchungen zu Wärmepumpen in Einfamilienhäusern und kleinen Mehrfamilienhäusern

Bei den meisten vorhandenen Studien zur Effizienz von Wärmepumpen im Betrieb handelt es sich um Untersuchungen an Einfamilienhäusern und kleinen Mehrfamilienhäusern. Bei der Untersuchung aus Deutschland (Miara et al. 2011) betrug die durchschnittliche beheizte Fläche der untersuchten 110 Objekte 199 m². Die zentralen Erkenntnisse in Bezug auf Effizienzprobleme betrafen dauernd laufende Ladepumpen, die fehlerhafte Beladung von Kombispeichern und unnötiger Heizbetrieb im Sommer.

In der Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen 2004 in der Schweiz (Erb et al 2004) standen Kleinwärmepumpen bis 20 kW im Fokus. Für 221 Anlagen wurde die Jahresarbeitszahl auf Grund der durch die Anlagenbesitzenden abgelesenen Elektro- und Wärmezählerangaben berechnet. Die Studie ergab, dass bei Sole/Wasser-Anlagen die eingestellten Heizkurven häufig über dem heiztechnisch erforderlichen Niveau liegen. Eine Anpassung würde energetische Einsparungen bringen.

Die Feldanalyse wurde fortgesetzt (Hubacher et al. 2012) und kam 2012 zum Schluss, dass die Energieeffizienz der Anlagen zwar in Ordnung sei, dass aber Verbesserungspotenzial bestehe. Bezüglich Betriebssicherheit erhielten die geprüften Anlagen ein sehr gutes Zeugnis.

In Hubacher et al. 2015 wurden leistungsgeregelte Wärmepumpen und Warmwasser-Wärmepumpen ebenfalls in Einfamilienhäusern untersucht. Es zeigte sich, dass Warmwasser-Wärmepumpenboiler für die kleinen ermittelten Zapfmengen meistens zu gross dimensioniert sind. Die grossen Wärmeverluste führen zu Anlagen, die viel ineffizienter arbeiten als von den Herstellern versprochen. Bei der Untersuchung von 15 Inverter-Luft/Wasser-Wärmepumpen zeigte sich, dass die versprochene höhere Effizienz zum Teil erreicht werden konnte (bei vier Geräten), dass es jedoch auch zahlreiche Anlagen mit schlechter Effizienz gibt (fünf Geräte) und dass bei einigen Geräten nur die Effizienz von guten Standard-Luft/Wasser-Wärmepumpen erreicht wurde. Die junge Technologie müsse noch weiterentwickelt werden und die Anlagenplanung (Dimensionierung, Auslegung und Betrieb) spiele eine zentrale Rolle im Hinblick auf die erreichbare Effizienz der Wärmepumpen-Anlagen.



Im Winter 2016/2017 erfolgte eine weitere Feldkontrolle von 106 Heizungsanlagen, davon 70% Wärmepumpen, die nicht mit dem Wärmepumpen-Systemmodul erstellt wurden und 30% fossile Heizungen (Hubacher et al. 2017). Bei 25% der Anlagen war die Regelung der Wärmeerzeugung schlecht eingestellt. Bei zahlreichen Anlagen wurde festgestellt, dass Leitungen nicht gedämmt waren. In der Studie wurde ermittelt, dass bei einer Behebung der gefundenen Mängel ein Energiesparpotenzial von im Durchschnitt 14 bis 16% vorhanden wäre. Auch hier handelte es sich meistens um kleinere Gebäude. Bei den Objekten mit Wärmepumpe betrug die Energiebezugsfläche im Durchschnitt 195 m², bei den Objekten mit fossiler Heizung 223 m².

2.1.2 Untersuchungen zu Wärmepumpen in (grösseren) Mehrfamilienhäusern

Fokus Warmwasser

Die Studie «Warmwasserbereitstellung mittels Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern» (Vetsch et al. 2012) untersuchte mit Simulationsmodellen die Wärmeverluste von verschiedenen Warmwasser-Warmhaltesystemen im Zusammenspiel mit Brauchwarmwasser-Wärmepumpen. Die Simulationen wurden mit Messdaten von konkreten Anlagen kalibriert. In der Studie wurden auf Grund von Expertengesprächen und Literaturanalysen die folgenden typischen Anlagen mit Wärmepumpen unterschieden und genauer untersucht:

- Zentrale Versorgung durch Brauchwarmwasser-Wärmepumpe und Speicher mit Zirkulation und Rückführung der Zirkulationsleitung in die obere Hälfte des Speichers (Variante bei mehreren Gebäuden: dezentrale Brauchwarmwasser-Wärmepumpen pro Gebäude).
- Zentrale Versorgung durch Brauchwarmwasser-Wärmepumpe und Speicher mit Warmhaltung durch Warmhalteband².
- Zentrale Heizungswärmepumpe, die auch die separaten, dezentral (pro Gebäude) aufgestellten Brauchwarmwasser-Speicher mit Wärme versorgt (und in diesen Zeiten das ganze System auf die geforderte Brauchwarmwassertemperatur erhitzen muss).
- Zentrale Heizungswärmepumpe und die dezentralen Brauchwarmwasser-Wärmepumpen werden mit dem Rücklauf der Raumheizung als Wärmequelle beliefert.
- Zentrale Versorgung durch Brauchwarmwasser-Wärmepumpe und Speicher mit Zirkulation. Anstelle der Rückführung der Zirkulationsleitung in den Speicher werden die Zirkulationsverluste mit einer separaten Zirkulations-Wärmepumpe gedeckt und das Wasser anschliessend direkt wieder dem Wasseraustritt des Speichers zugeführt.

² In der Literatur werden für das Warmhalteband unterschiedliche Begriffe verwendet, z. B. Begleitheizung, Begleitbandheizung, Begleitheizband, Rohrbegleitheizung. Wir verwenden den Begriff Warmhalteband gemäss SIA 385. Dort wird er so definiert: Elektrisches Heizband mit selbstregulierender Temperatur-Leistungscharakteristik zur Warmhaltung einer Warmwasserleitung auf einen geplanten Wert.



Die Resultate zusammengefasst: «Es hat sich gezeigt, dass Brauchwarmwasser-Anlagen mit Zirkulation am effizientesten sind, jedoch auch ein gewisses Risiko hinsichtlich Installation mit sich bringen. Systeme mit Begleitheizung haben eine geringfügig schlechtere Effizienz, sind jedoch einfacher in der Handhabung.» (Zitat Vetsch et al. 2012, S. 94)

Die Effizienz von Systemen mit Warmhalteband liegt nur ca. 5% tiefer als die von Zirkulationssystemen. Der relativ geringe Unterschied wird damit begründet, dass mit Warmhalteband die Wärmeschichtung im Warmwasserspeicher nicht gestört wird und die Wärmepumpe deshalb effizienter arbeitet. Zudem führt das bei Warmhaltebändern kürzere Leitungsnetz (keine Rücklaufleitung) zu geringeren Energieverlusten. Als energetisch nicht sinnvoll werden Systeme ermittelt, in welchen die Heizungswärmepumpe auch noch dezentrale Brauchwarmwasser-Speicher laden muss.

Gemäss den Simulationen wird bei Zirkulationssystemen ca. 17% des gesamten elektrischen Energieaufwands für die Warmhaltung verwendet. Systeme mit Warmhalteband benötigen 27% des gesamten elektrischen Energieaufwands zur Warmhaltung des Brauchwarmwassers im Verteilnetz.

Zur Optimierung wird empfohlen, bei Systemen mit Zirkulation den Zirkulationsvolumenstrom so klein wie möglich zu halten mit dem Ziel, die Durchmischung des Speichers zu reduzieren. Gemäss der Studie sind die Zirkulationsvolumenströme meist zu hoch eingestellt u. a. wegen den in früheren Empfehlungen noch geforderten kleinen Temperaturspreizungen (Differenz von Vorlauf und Rücklauf beim Speicher gemessen). Vetsch et al. 2012 weist darauf hin, dass in SIA 385/1 (2011) keine Empfehlungen betreffend der Temperaturspreizung in der Zirkulation mehr enthalten sind. Gemäss den Untersuchungen sei eine mittlere Spreizung zwischen Warmwasseraustritt und Zirkulationsrücklauf des Speichers von 10 K zulässig (typische Einstellungen liegen heute bei 2 bis 3 K) und es bringe energetische Vorteile: In der Studie wurde bei einer Anlage der Zirkulationsvolumenstrom reduziert, so dass sich die Spreizung von 2.5 K auf 6.5 K erhöhte. Dies brachte eine Erhöhung der Arbeitszahl des Systems um rund 20%.

Auch eine kürzlich fertiggestellte Bachelor-Arbeit an der Hochschule Luzern³ zeigt, dass eine Zirkulation, die langsam in den Speicher zurückströmt, einen energieeffizienten Betrieb begünstigt. Bei zu hohem Einströmdruck durchmischt sich der Speicher, was zu ineffizienten Zwangsladungen führen kann.

Betreffend Warmwasserverbrauch wurde in Vetsch et al. 2012 ein typischer Warmwasserverbrauch pro Person und Tag von 36 bis 44 Liter ermittelt. In Sicre et al. 2016 wurde der SIA Auslegungswert von 35 Normlitern pro Tag und Person mit Feldmessungen bestätigt, jedoch mit dem Hinweis, dass dieser Mittelwert einer starken Streuung unterliege.

³ Gemäss Interview mit Reto von Euw, 16.2.2017



Fokus Anlagequalität

In Sitzmann 2016 wurden 40 Wärmepumpenanlagen in den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft geprüft, davon 16 Sole-Wasser-Wärmepumpen. Es handelt sich um durch die Kantone geförderte Anlagen in Altbauten. Rund ein Viertel der Anlagen hatte eine Nennleistung von mehr als 20 kW. Die Qualitätsprüfung zeigte unter anderem, dass Luft-Wasser-Wärmepumpen eher überdimensioniert werden. Bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen war dies weniger ausgeprägt. Gesamthaft wurden rund ein Viertel der Anlagen als überdimensioniert beurteilt. Zur Ermittlung der Effizienz der Anlagen wurde nach Möglichkeit die Jahresarbeitszahl ermittelt. Diese lag bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen bei einem Durchschnitt von unter 3. Die Jahresarbeitszahl der Sole-Wasser-Wärmepumpe lag bei den acht Anlagen, die berechnet wurden, zwischen 3 und 4.4. Die allgemeine Ausführung wurde bei 58% der Anlagen als gut eingeschätzt, bei 40% als genügend. Bei den letzteren gab insbesondere die unzureichende Dämmung der Leitungen Anlass zu Beanstandungen.

Bei 40% der Anlagen war kein Abnahmeprotokoll vorhanden. Diese Anlagen schnitten in der Gesamtbeurteilung zudem tendenziell schlechter ab, als die Anlagen mit vorhandenem Abnahmeprotokoll. Bei 45% der Anlagen bestand ein Service-Vertrag.

Die Studie folgert, dass durchaus Verbesserungspotenzial bei Planungs- und Ausführungsqualität der Wärmepumpenanlagen vorhanden ist. Die Qualitätsprüfung hatte jedoch keinen Fokus auf den Betriebseinstellungen und auf dem damit verbundenen Einsparpotenzial der Wärmepumpen.

2.2 Bisherige Erkenntnisse zum Einsparpotenzial der verschiedenen Betriebskomponenten

2.2.1 Energetische Betriebsoptimierung von Heizanlagen

In EnergieSchweiz 2002 wurden Empfehlungen für die energetische Optimierungen von Wärmepumpenanlagen gemacht. Nachfolgend werden die Aspekte aufgeführt, die gemäss EnergieSchweiz 2002 bei Wärmepumpen einen «grossen» oder «sehr grossen Spareffekt» haben. Diese Kategorisierung implizierte, dass diese Aspekte ein grosses Sparpotenzial aufweisen. Gewisse Vorschläge davon sind heute möglicherweise überholt, wie der Einbau eines anderen Expansionsventils, weil dies bei den heutigen Seriengeräten nicht vorgesehen ist. Die Empfehlungen bedürfen deshalb dringend einer Überarbeitung.

- Verbraucher überprüfen, unnötige Verbraucher abstellen
- Betriebszeiten Wärmepumpe auf das Bedürfnis der Verbraucher (absolutes Minimum) anpassen / Schaltuhr anpassen



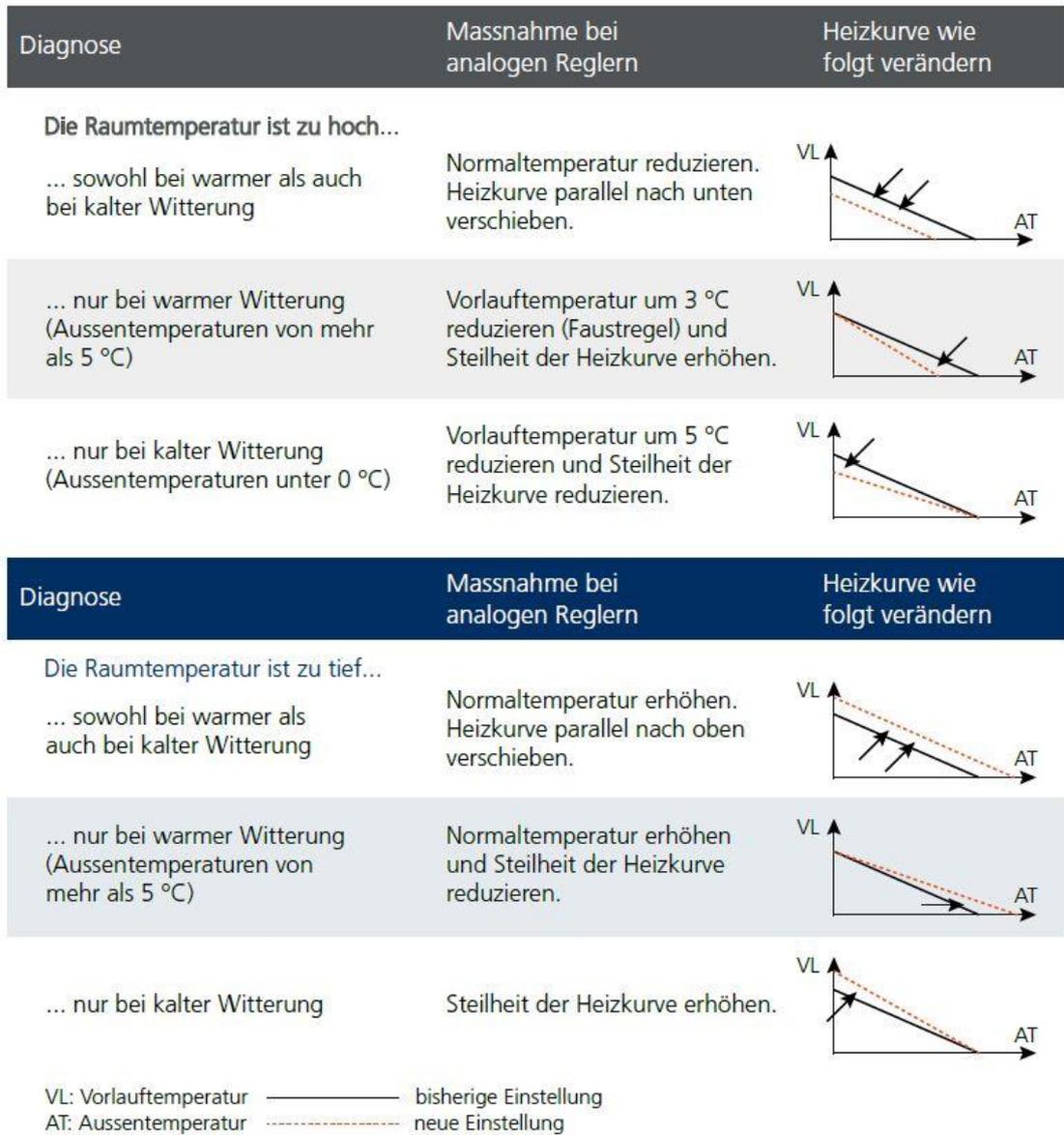
- Ventilatorschaltung überprüfen (LWP): Stufeneinstellung / Drehzahlregelung
- Wärmepumpe mit Wärmequelle Luft: Abtaubetrieb prüfen
- Wärmepumpe mit Wärmequelle Luft: Ventilatorschaltung optimieren
- Gesamtwirkungsgrad optimieren: Falls möglich, auf Heissgas-Bypass verzichten d.h. tiefen Teillastbetrieb vermeiden
- Gesamtwirkungsgrad optimieren: Ein-/ Ausschalthäufigkeit überprüfen
- Gesamtwirkungsgrad optimieren: Einbau eines Expansionsventils mit elektronischer Regulierung prüfen
- Verflüssiger: Wärmeträgertemperatur anpassen: möglichst tiefe Temperaturen anstreben
- Verflüssiger: Wärmeträgertemperatur anpassen: Sollwert Verflüssigungstemperatur in Abhängigkeit von der Aussentemperatur schieben
- Wärmeabgabe Wirkungsgrad / Leistungsaufnahme: Parallelschaltung überprüfen

Auch in Jakob et al. 2016 werden die Potenziale von Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik zur Reduktion der Primärenergie ermittelt. Bezüglich der energetischen Betriebsoptimierung wird von folgenden Potenzialen ausgegangen:

Mit energetischen Betriebsoptimierungen von Heizanlagen sowohl im Neubau wie im Bestand können 10% bis 15% Energieeinsparung erreicht werden. Als Ansatzpunkte für die Betriebsoptimierung genannt werden die Wärmeverteilung, die Heizkurve, gleitende Speichertemperatur, Laufzeitkontrollen, Abschaltung bei nicht-benutzten Räumen und die Kontrolle der Wasserwege. Bei der Optimierung der hydraulischen Wärmeverteilung mittels hydraulischem Abgleich wird von Einsparungen von 10% bei Neubauten und im Bestand ausgegangen. In der Studie wird jedoch nicht spezifisch auf das Potenzial bei der energetischen Optimierung von Wärmepumpeneinstellungen eingegangen.

Gemäss dem Heizkompass für Hauswartinnen und Hauswarte (EnergieSchweiz 2012) verursacht eine nicht optimal eingestellte Heizkurve einen um 4 bis 7% überhöhten Energieverbrauch. Ein zu hoher Förderdruck im Heizsystem führt zu einem Pumpenmehrverbrauch von 50%.

Nachfolgend finden sich die Optimierungsempfehlungen zur Heizkurve aus EnergieSchweiz 2012.



econcept

Figur 6: Optimierungsempfehlungen zur Heizkurve. Quelle: EnergieSchweiz 2012

2.2.2 Energetische Betriebsoptimierung von Trinkwarmwasseranlagen

Die nachfolgenden Optimierungsansätze führen gemäss EnergieSchweiz 2002 zu «grossen» oder «sehr grossen Energieeinsparungen» beim Warmwasser:

- Warmwasser-Wärmeverluste minimieren: Überprüfung des Umwälzmassenstroms
- Kontrolle Warmwassertemperatur max. 60°C -> Vorsicht Legionellen
- Leistungsüberprüfung (z. B. bei Verkalkung der Register und Plattentaucher)
- Ladekreislauf und Temperaturhochhaltung überprüfen



- Art der Wassererwärmung (Winter / Sommer verschieden)
- Steuerfunktionen: Sommer-Winter-Freigabe überprüfen
- Zirkulation: Neubeurteilung, ob auf eine Zirkulation verzichtet werden kann
- Begleitheizung: Neubeurteilung, ob auf eine Begleitheizung verzichtet werden kann

In der Studie von Jakob et al. 2016 werden zur Einschätzung des Einsparpotenzials im Bereich der Betriebsoptimierung von Trinkwarmwasseranlagen die GA-Effizienzfaktoren (GA = Gebäudeautomation) für die Einsparung von thermischer Energie bei der Heizung bzw. beim Warmwasser gemäss SIA 386.110 herangezogen. Wenn davon ausgegangen wird, dass mit einer Betriebsoptimierung vom GA-Effizienzfaktor C zu B⁴ gewechselt werden kann, beträgt die thermische Energieeinsparung in Wohngebäuden beim Warmwasser 10%.

Die Regelung der Temperatur von Trinkwarmwasserspeichern wird in Jakob et al. 2016 zwar als Optimierungsmassnahme erwähnt, jedoch ohne Quantifizierung der Einsparungen. Zudem wird betont, dass es sich dabei um eine heikle Massnahme handelt, wegen möglichen Hygieneproblemen durch Legionellen.

Bezüglich der Regelung der Wassertemperatur geht suissetec sogar davon aus, dass tiefere Warmwassertemperaturen kaum zu Energieeinsparungen führen, jedoch zu längeren Ausstosszeiten und damit zu Komforteinbussen (Lippuner 2015). Diese Einschätzung wird jedoch nicht empirisch belegt.

In EnergieSchweiz 2012 wird empfohlen, eine Wassertemperatur von 50 bis 55 Grad einzuhalten. Damit würden gegenüber einer Temperatur von über 55 bis 60 Grad 10% Energie eingespart. Allerdings wird dabei auch auf die Einhaltung des Legionellenschutzes gemäss SIA 385/1 verwiesen. Würde die SIA 385/1 gemäss dem Vernehmlassungsentwurf von 2016 verschärft, dürfte eine solche Empfehlung von offizieller Seite nicht mehr ausgesprochen werden. Denn der unterdessen zurückgezogene Vernehmlassungsentwurf sah vor, immer 60° am Ausgang aus dem Speicher zu verlangen (vgl. Kapitel 2.3.2 «Weiterführende Informationen und zu erwartende Entwicklungen»).

2.2.3 Sparpotenzial bei Warmhalteband und Zirkulation

Seit der Studie von Vetsch et al. 2012 kann nicht mehr grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass die Zirkulation energetisch besser abschneidet als eine Begleitheizung (auch Warmhalteband genannt). Obwohl der Heizkompass (EnergieSchweiz 2012) erst

⁴ GA-Effizienzfaktor C entspricht Standard-GA-Systemen: vernetzte Gebäudeautomation der Primäranlagen, keine elektronische Raumautomation, Thermostatventile an Heizkörpern. B entspricht weiterentwickelten GA-Systemen und einigen speziellen TGM-Funktionen (TGM = Technisches Gebäudemanagement): vernetzte Raumautomation ohne automatischer Bedarfserfassung, Energiemonitoring.) Jakob et al. 2016



nach der Studie von Vetsch et al. 2012 heraus kam, wird dort allerdings noch für die Zirkulation geworben.

Bezüglich Warmhalteband empfiehlt der Heizkompass, das Warmhalteband in Zeiten mit hohem Zapfvolumen per Zeitschaltuhr auszuschalten. Damit könnten bis 50% der Energie für das Warmhalteband eingespart werden.

Bezüglich des Optimierungspotenzials der Zirkulation gehen Vetsch et al. 2012 davon aus, dass bei einer Erhöhung der Spreizung (Vorlauf der Zirkulation versus Rücklauf der Zirkulation) von 2.5 K auf 6.5 K die Arbeitszahl des Systems um 20% erhöht werden kann. Zudem soll auf eine impulsarme Einströmung in den Warmwasser-Speicher geachtet werden, um eine Vermischung verschiedener Temperaturschichten möglichst zu vermeiden.

2.3 Normen, Vorschriften und Studien zum Thema Legionellen

Legionellen im Wasser können die Legionärskrankheit auslösen. Die Krankheit kann als leichte bis schwere Lungenentzündung verlaufen, die tödlich enden kann. Im Durchschnitt sterben trotz Antibiotika-Behandlung 5 bis 10 % der Erkrankten⁵. Gemäss Bundesamt für Gesundheit erkrankten in der Schweiz in den letzten 10 Jahren jeweils zwischen 200 und 400 Personen pro Jahr. Die Krankheit wird nicht durch die Einnahme der Legionellen sondern durch die Inhalation der in Wassertropfen enthaltenen Keime ausgelöst.

2.3.1 Relevante Normen und Vorschriften

Die Sanitärinstallationsbranche orientiert sich an den SIA Normen 385/1 und 385/2 betreffend der Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden. Auch die Merkblätter und Informationen des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches und von suissetec beziehen sich darauf. Diese Dokumente dienen der Legionellen-Prävention.

Das Bundesamt für Gesundheit BAG informiert mit dem Bericht «Legionellen und Legionellose» (Bundesamt für Gesundheit 2009) über Hintergründe, Prävention und Bekämpfung der Legionellen und auch über Legionellen in Sanitärinstallationen. Das Merkblatt ist momentan in Überarbeitung (Stand März 2018). Zudem wird mit der Revision des Lebensmittelgesetzes das Trinkwasser neu als Lebensmittel definiert. Die dazugehörige Verordnung (Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen TBDV) wird momentan erarbeitet. Grenzwerte für Legionellen im Trinkwasser von privaten Gebäuden sind dort nicht enthalten, jedoch Grenzwerte für das Wasser von öffentlichen Duschanlagen. Dort darf die Legionellenzahl 1'000 koloniebildende Einheiten pro Liter (KBE/l) nicht übersteigen.

⁵ <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/themen/mensch-gesundheit/uebertragbare-krankheiten/infektionskrankheiten-az/legionellose.html> [27.3.2017]



Gemäss SIA 385/1 gehören Mehrfamilienhäuser mit zentraler Warmwasserversorgung in die Risikostufe «mittel». Bei dieser Risikostufe sind Massnahmen zur Vorbeugung gegen Legionellen zu ergreifen. Die heute noch gültige Norm SIA 385 empfiehlt, dass die Wassertemperatur am Austritt aus dem Wassererwärmer 60° beträgt. Die Temperatur in den warm gehaltenen Leitungen soll 55° betragen und an der Entnahmestelle 50° Celsius. Systeme mit Temperaturen unter 60° müssen täglich während einer Stunde thermisch mit 60° C desinfiziert werden.

SIA 385/1 legt fest, dass Systeme mit warm gehaltenen Leitungen die Gesamtanforderung an die Warmwasserspeicherung und -verteilung einzuhalten haben. Die Gesamtanforderung wird in SIA 385/2 definiert: die Wärmeverluste bei der Warmwasserspeicherung und -verteilung dürfen nicht mehr als 50% des Wärmebedarfs für Warmwasser betragen. Der Zielwert liegt bei 40%.

Für Gebäude ohne warm gehaltene Leitungen gibt es keine Gesamtanforderung. Bei diesen Gebäuden bedingt jedoch die Anforderungen an die Ausstosszeiten eine möglichst kompakte Anordnung des Warmwassersystems.

SIA 385/1 empfiehlt aus Komfortgründen die Zirkulation in der Nacht nicht zu unterbrechen. Bezüglich des elektrischen Warmhaltebands wird aber empfohlen, eine Steuerung zu verwenden, die die Regulierung während den Verbrauchszeiten ermöglicht. Genauer wird darauf nicht eingegangen.

2.3.2 Weiterführende Informationen und zu erwartende Entwicklungen

Im Zeitraum von 1995 bis 2014 sind in der Schweiz 159 Personen (8 Personen pro Jahr) an einer Legionellen-Erkrankung gestorben. In 75 % der Fälle hatte die erkrankte Person das 70 Lebensjahr bereits überschritten (Bundesamt für Statistik (2017)). Allerdings kann wegen einer Inkubationszeit von rund 10 Tagen oft nicht nachgewiesen werden, wo die Infizierung erfolgte. Im Vergleich zu tausenden Influenza-Infektionen und mehreren hundert Todesfällen pro Jahr in Folge einer Grippe ist eine Erkrankung oder gar ein Todesfall auf Grund einer Legionellen-Infektion verhältnismässig selten

In zwei Studien aus Basel und Genf wurde in 50 % der gemeldeten Fälle eine Ansteckung über das Warmwasser nachgewiesen. (Bulletin 30/06 Bundesamt für Gesundheit). Gewisse Experten gehen davon aus, dass andere Quellen wie z. B. Lüftungsanlagen oder Luftbefeuchter viel häufiger Ursache der Erkrankungen sind als zentrale Warmwasseranlagen. Auch die eingesetzten Materialien und das Nährstoffangebot im Wasser, Wassereigenschaften (Wasserhärte, Osmolarität, etc.) sowie die Anwesenheit von Amöben scheinen einen grossen Einfluss auf die Vermehrung und Virulenz von Legionellen zu haben. Duschschräuche aus Kunststoff scheinen viele dieser wachstumsfördernden Faktoren zu unterstützen (Borella et al 2014, Weiss C. 2014).



In Deutschland sind Betreiber von Trinkwasser-Hausinstallationen bei gewerblicher Tätigkeit, also z. B. auch in Mietmehrfamilienhäusern, verpflichtet, die Anlagen regelmässig auf Legionellen zu untersuchen. Meyer 2017 führt aus, dass diese Massnahme teuer sei aber nichts bringe. Denn die Zahl der Legionellenerkrankungen steige in Deutschland wie auch weltweit an. Die Ansteckung erfolge dabei oft durch Kontakt mit Erde oder Kompost oder wegen Kühltürmen. Weil die meisten Erkrankungen (bis zu 75 %) in den wärmeren Monaten Juli bis Oktober erfolgen, wird zudem ein Zusammenhang mit wärmeren Temperaturen auf Grund des Klimawandels vermutet. Eine weitere mögliche Ursache für die weltweit steigenden Fallzahlen sind zudem die verbesserte Meldedisziplin und gesteigerte Diagnostik.

Die beobachtete Saisonalität, starke regionale Unterschiede der Häufigkeit der Legionellen-Erkrankungen oder die Tatsache, dass doppelt so viele Männer an Legionellen erkranken wie Frauen lassen Zweifel an einer massgeblichen Rolle der Warmwassertemperatur bei diesen Erkrankungen aufkommen.

Trotz der Unsicherheiten über die Ursache von vielen Legionellenerkrankungen haben Anpassungen der Vorschriften bei Warmwasserinstallationen zugunsten einer rationellen Energienutzung vor dem Hintergrund der genannten Todesfälle einen schweren Stand.

Die SIA 385/1 ist in Überarbeitung. Im unterdessen zurückgezogenen Vernehmlassungsentwurf von 2016 war eine Verschärfung der Anforderungen an den Legionellenschutz vorgesehen. Er hätte gefordert, dass bei Systemen mit warmgehaltenen Leitungen die Wassertemperatur am Eintritt in die warmgehaltenen Leitungen immer 60° C beträgt. Die Alternative der thermischen Desinfektion auf 60° alle 24 h wäre weggefallen. Hintergrund dafür war, dass nicht kontrolliert werden kann, ob sich das Warmwasser im Speicher wirklich nicht länger als 24h im kritischen Bereich (25 bis 55°) aufhält.

In den Untersuchungen von Borella et al. (2004) wurden jedoch auch im Trinkwasser mit einer Temperatur von 63°C Legionellen nachgewiesen. Zudem ist es in Amöben lebenden Legionellen möglich, während 10 Minuten eine Temperatur von 71°C zu überstehen und werden auch während 20 Minuten bei 60°C nicht komplett abgetötet (Meyer 2017).

Auf der Seite der Fachpersonen, die Betriebseinstellungen vornehmen, besteht wenig Anreiz, von den offiziellen Empfehlungen zu Gunsten der Energieeffizienz abzuweichen. Bei Rechtsfällen muss man nachweisen können, alles gemäss gängigen Regeln umgesetzt zu haben. Weil es diesbezüglich kein Gesetz gibt, wird die SIA Norm als Dokumentation des aktuellen Stands von Wissen und Technik herangezogen, die deshalb einzuhalten ist.

2.3.3 Ansätze zur energieeffizienten Einhaltung der Anforderungen

Die thermische Desinfektion ist für Warmwasseranlagen in Mehrfamilienhäusern die einfachste Art der empfohlenen Legionellen-Profilaxe. Zwar gibt es andere Möglichkeiten zur



Eliminierung der Keime wie mechanische Reinigung, der Einsatz von Chemie (Chlorbehandlung, Ionisierung, Ozonbehandlung) und physikalische Massnahmen wie Ultraviolett-Strahlung (Bundesamt für Gesundheit 2009). Diese weisen aber jeweils diverse Nachteile auf wie beispielsweise die Belastung des Trinkwassers oder hohe Kosten. Deshalb wird nachfolgend darauf eingegangen, wie die thermische Desinfektion möglichst energieeffizient erfolgen kann. Für eine Übersicht über die Vor- und Nachteile der anderen Desinfektionsmöglichkeiten wird auf den Bericht «Legionellen und Legionellose» (Bundesamt für Gesundheit 2009) verwiesen.

Aus den explorativen Gesprächen wurde ersichtlich, dass es wegen der Verschärfung der Anforderungen an die Legionellen-Prophylaxe noch wichtiger wird, dass die Wärmepumpen zur Aufbereitung des Warmwassers energieeffizient angelegt und betrieben werden. Damit gelten die bereits in Kapitel 2.2 gemachten Hinweise zum energieeffizienten Betrieb noch viel mehr, weil wegen den Legionellen offiziell über eine Reduktion der Warmwassertemperaturen nicht mehr Energie gespart werden darf. Der Einsatz von Durchlaufsystemen (Frischwasserstation, Hygienespeicher) würde die warmgehaltene Trinkwassermenge reduzieren und die Erneuerungsrate mit Frischwasser erhöhen. Dies führt zu einer geringeren Konzentration an Legionellen pro Liter Warmwasser und die Anforderungen an den Legionellenschutz könnten mit geringerem Energieaufwand erfüllt werden.

Neben den oben skizzierten Ansätzen wurden von unseren Interviewpartnern noch folgende zwei Aspekte genannt:

- Temperaturfühler-Position: Bezüglich Installation sollte mit den Wärmepumpenherstellern die Frage der Temperaturfühler diskutiert werden. Anstatt eines einzigen Fühlers, der bei einer gewissen Temperatur einschaltet und beim Erreichen einer bestimmten Temperatur an derselben Stelle im Wassererwärmer wieder ausschaltet, sollten zwei Fühler angebracht werden. Der eine Fühler sollte oben im Speicher platziert werden. Wird an dieser Stelle eine bestimmte Temperatur (z. B. 55°) unterschritten, beginnt die Ladung. Sie dauert, bis der Fühler im unteren Bereich des Speichers die gewünschte Temperatur (z. B. 60°) erreicht hat. Dadurch kommt es zwar zu längeren Ladungen, die jedoch weniger häufig stattfinden. Dadurch arbeite die Wärmepumpe effizienter.
- Von zwei Gesprächspartnern wurde zudem darauf hingewiesen, dass die Ladung des Speichers durch die Wärmepumpe in Stufen erfolgen sollte. Dadurch kann die Wärmepumpe möglichst lang mit wenig Temperaturhub arbeiten.

Gebäudeeigentümerschaften, die trotz SIA-Empfehlungen weiterhin mit tieferen Temperaturen und nur wöchentlicher Desinfektion WW erwärmen möchten, können zur eigenen Absicherung die Legionellenkonzentration mit regelmässigen Probenahmen überwachen. Grundsätzlich gilt, dass die Gebäudeeigentümerschaft für den sicheren Betrieb der Anlage verantwortlich ist.



In Deutschland läuft seit 2014 die Studie «Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasser-Installation» unter der Leitung des Instituts für Energietechnik der Technischen Universität Dresden. Das Projekt umfasst unter anderem eine statistische Auswertung großer Datenmengen aus obligatorischen Legionellen-Untersuchungen und das Monitoring von rund 100 Objekten bezüglich Legionellen im Trinkwasser. Unter anderem stellt die Studie auch die in Deutschland geltende stetige Warmwassertemperatur von 60°C in Frage. Diesbezüglich wird in der Studie die folgende These formuliert: «*Eine Absenkung des TWW-Temperaturniveaus ermöglicht eine signifikante Reduzierung des Endenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen der Gebäude. Eine Reduzierung der TWW-Temperatur kann damit entscheidend zu den Zielen der Energiewende beitragen. Die Erkenntnisse der Trinkwasserhygiene erlauben derzeit nur eine Absenkung um 5 K (von 60°C auf 55°C), wenn die anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden*» (Rühling et al. (unveröffentlicht)).

2.3.4 Fazit zu den Auswirkungen der offiziellen Empfehlungen

Die im Vernehmlassungsentwurf von 2016 (SIA 385/1:2016-Entwurf) vorgeschlagene Anforderung von ständigen 60° am Eintritt in die warmgehaltenen Leitungen würden sich negativ auf die Effizienz der Wärmepumpenanlagen auswirken, auch wenn weiter unten im Speicher die Temperaturen tiefer als 60° liegen könnten. Umso wichtiger würde eine optimale Einstellung der verschiedenen Komponenten. Wenn beispielsweise Elektroheizstäbe für die Temperaturerhöhung zur Legionellenprävention eingesetzt werden, sollten sie so gesteuert sein, dass möglichst viel Energie durch die Wärmepumpe geliefert wird. Die elektrische Widerstandsheizung soll nur «am Schluss» noch einen Beitrag leisten. Das Aufheizen sollte bis zur höchstmöglichen Temperatur durch die Wärmepumpe erfolgen. Weil Elektroerwärmungen manchmal zeitweise durch die Elektrizitätswerke gesperrt werden, sei diese Steuerung gemäss Interviewpartner anspruchsvoll.

Zur Abfederung allfälliger neuer Anforderungen wird auch die Wärmepumpentechnologie weiter entwickelt werden müssen und es sind Optimierungen auf Seiten der Installation vorzunehmen, wie z. B. bezüglich Ladung, Temperaturfühler, Ort des Eintritts oder Druck des Eintritts einer allfälligen Zirkulationsleitung.

Mit welchen Massnahmen der Legionellenschutz in Mehrfamilienhäusern heute tatsächlich umgesetzt wird, darüber ist bisher wenig bekannt. Mit der Begehung von rund 80 Gebäuden im Rahmen der vorliegenden Studie liegen erstmals fundierte Informationen zur Legionellenprävention in mit Wärmepumpen betriebenen Mehrfamilienhäusern mit zentraler Warmwasserversorgung vor (vgl. Kapitel 4.1 «Beschreibung der einbezogenen Objekte»).

Im ursprünglichen Forschungsantrag für die vorliegende Studie war die Analyse nicht vorgesehen, ob und wie die unterschiedlich rigiden Vorbeugemassnahmen zu unterschiedlichen Konzentrationen von Legionellen im Trinkwasser führen. Genau diese Frage



ist jedoch wichtig in der Diskussion bzw. Abwägung zwischen Energieeffizienz und Hygiene. Die Begleitgruppe hat deshalb angeregt, dass bei ausgewählten Objekten Wasserproben im Hinblick auf die Legionellenkonzentration analysiert werden. Diese Stossrichtung wurde auch von unserem Interviewpartner von der Hochschule Luzern unterstützt. Nach seiner Einschätzung ist weitere Forschung zum Zusammenhang zwischen Energieanliegen und Hygiene im Gebäudebereich auf jeden Fall notwendig.

Das vorliegende Forschungsprojekt konnte um einen Zusatzkredit erweitert werden. Dieser erlaubte es einerseits, für acht ausgewählte Objekte tatsächlich Legionellenproben nehmen zu lassen (vgl. Kapitel 3.4 «Zusätzliche Analysen zur Legionellenkonzentration»). Zudem wird in einem Zusatzmodul berechnet, welche Auswirkungen die Vorgaben von SIA 385/1:2011 und 385/1:2016-Entwurf auf den Energiebedarf haben bzw. hätten (vgl. dazu Kapitel 3.3.4 «Sollwert zur Einhaltung von SIA 385/1:2016-Entwurf = Sollwert 4»).

2.4 Hemmnissen für den energieoptimierten Betrieb

2.4.1 Forschung zu Hemmnissen für energetische Betriebsoptimierungen

Nachfolgend werden die Erkenntnisse der kürzlich erschienenen Studie «Instrumente zur Umsetzung von Effizienzmassnahmen in der Gebäudetechnik» (Hammer et al. 2016)⁶ im Hinblick auf ermittelte Hemmnisse für energetische Betriebsoptimierungen zusammengefasst. Hammer et al 2016 orten sowohl ein generelles Verbesserungspotenzial auf der Angebotsseite bei den Leistungen der Gebäudetechnikbranche im Hinblick auf Betriebsoptimierungen als auch eine fehlende Nachfrage nach Energieeffizienz auf Seiten der Gebäudeeigentümerschaften und Betreibenden.

Auf der Angebotsseite bestehe wegen einer generell guten Auslastung kein Bedarf der Gebäudetechnikbranche, neue Geschäftsmodelle zur Betriebsoptimierung zu entwickeln. Zudem wurde ein Nachwuchs- und Kompetenzproblem in der ganzen Wertschöpfungskette der Gebäudetechnikbranche ermittelt.

Auf der Nachfrageseite hindern mietrechtliche Regelungen die energetische Betriebsoptimierung. Eine energetische Betriebsoptimierung gehört nicht zur Wartung, die gemäss VMWG⁷ in den Nebenkosten abgerechnet werden kann. Sie werde aus mietrechtlicher Sicht als Unterhalt beurteilt, welcher über die Nettomiete abgegolten wird⁸. Der Vermieter hat keinen Anreiz, eine energetische Betriebsoptimierung zu finanzieren, wenn er nicht von den Energieeinsparungen seiner Mietenden profitieren kann und erst noch die Kos-

⁶ Hammer et al. 2016 basiert auf der Vorstudie «Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik. Grundlagen für ein Potenzial- und Massnahmenkonzept der Gebäudetechnik zur Reduktion von Endenergie, Primärenergie und Treibhausgasemissionen» (Jakob et al. 2016).

⁷ Verordnung über die Miete und Pacht von Wohn- und Geschäftsräumen (VMWG) vom 9. Mai 1990 (Stand am 1. Juli 2014)

⁸ Telefonisch Auskunft vom 18.9.2017 von Ruedi Spöndlin, MieterInnenverband Deutschschweiz.



ten dafür nicht überwälzen darf. Zudem fehlt gemäss Hammer et al. 2016 auch das Problembewusstsein für suboptimal betriebene Anlagen und die tiefen Energiekosten reduzierten den Handlungsanreiz zusätzlich.

Auf Seiten Facility Management (FM) werden oft Verträge mit Pauschalbeträgen abgeschlossen. Diese wollen mit möglichst wenig Aufwand erfüllt werden. Der Fokus liege auf der Aufrechterhaltung des Betriebs, die Steigerung der Energieeffizienz sei nicht Bestandteil der typischen Facility Management-Verträge. Deshalb bestehe kein Anreiz, in das Messen, Analysieren und Optimieren des Energieverbrauchs zu investieren. In der Studie wird vermutet, dass zudem viele FM-Unternehmen bzw. die jeweiligen technischen Leitenden oder Hauswarte/innen von den Anlagen überfordert seien. Sie seien gar nicht in der Lage zu beurteilen, ob eine Wärmepumpe energetisch effizient laufe.

Für die korrekte Inbetriebnahme der Gebäudetechnik fehlten beim Bauabschluss oft die Zeit und das Budget. Deshalb werde nicht systematisch geprüft, ob eine Anlage richtig betrieben werde. Deshalb treten bei Betriebsoptimierung oft Mängel der Inbetriebnahme zutage. Es wird zudem erwähnt, dass gemäss SIA eigentlich eine Zweijahres-Garantieabnahme zum Grundauftrag des/r Ingenieurs/in gehören würde. Diese Leistung werde jedoch selten durch die Bauherrschaft eingefordert. Auch die Erarbeitung eines Messkonzepts, dank welchem ein suboptimaler Betrieb auffallen würde, wäre eigentlich Teil der Planungsleistungen. Aber das Messkonzept werde von den Bauherren selten eingefordert.

Schliesslich wird darauf hingewiesen, dass Betriebsoptimierungen wie die Anpassung der Heizkurve in Miet-Wohnobjekten wenn überhaupt dann zurückhaltend umgesetzt werden, weil die Komfortansprüche der Mietenden zu berücksichtigen seien. Damit ist gemeint, dass Mietende höhere Raumtemperaturen möchten als eigentlich vorgesehen sind.

2.4.2 Organisation der Gebäudebewirtschaftung

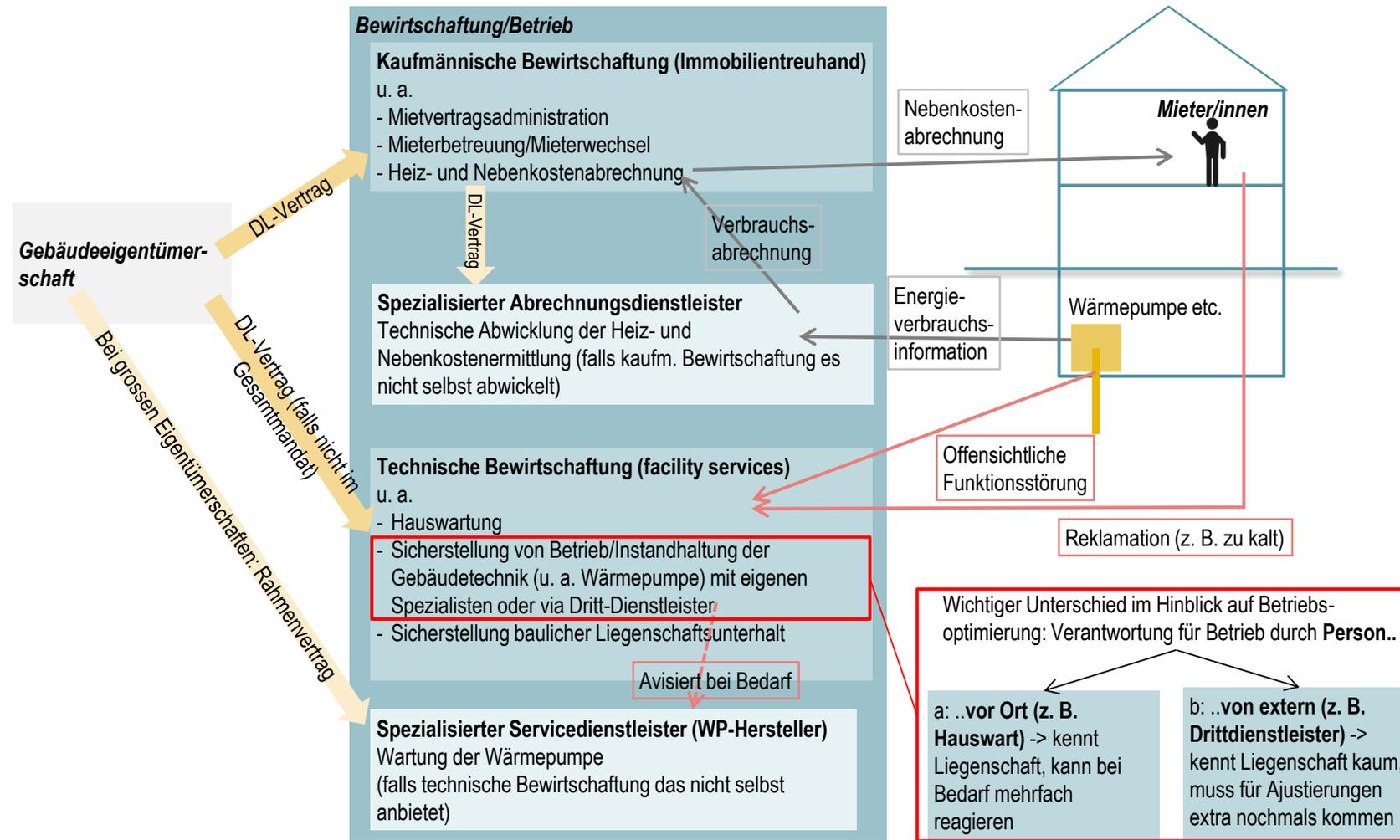
Die nachfolgende Figur illustriert die Arbeitsteilung im Zusammenhang mit dem Betrieb einer Wohnliegenschaft mit dem Fokus auf den Zuständigkeiten für die Heizungsanlage. Die Darstellung zeigt vor allem die zahlreichen Akteure, die je nach Spezialisierung mit unterschiedlichen Aspekten der Gebäudebewirtschaftung zu tun haben.

In einem Einfamilienhaus vereint im Idealfall eine Person (der Hauseigentümer, die Hauseigentümerin) alle Funktionen in der Grafik auf sich – ausser diejenige des spezialisierten Servicedienstleisters (Wärmepumpen-Hersteller). Dort gibt es weder Schnittstellenprobleme noch Informationsasymmetrien. Handelt es sich jedoch um ein Miet-Mehrfamilienhaus, ist es sehr wahrscheinlich, dass sich mehrere Unternehmen und innerhalb der Unternehmen mehrere Personen die verschiedenen Aufgaben teilen. Im Hinblick auf einen optimalen Wärmepumpenbetrieb ist u. a. kritisch, dass die Information über den Energieverbrauch über die kaufmännische Bewirtschaftung läuft. Der Betrieb der Anlagen wird jedoch vom Hauswart bzw. der technischen Bewirtschaftung betreut.



Die Informationen zum Energieverbrauch als wichtige Indikatoren für die Qualität der Anlageneinstellung gelangen damit gar nicht zu den Personen, die für einen optimalen Betrieb zuständig sein könnten.

Ob ein/e Hauswart/in oder die technische Bewirtschaftung tatsächlich für die eigentliche Betreuung der Wärmepumpenanlage zuständig ist, hängt stark vom konkreten Pflichtenheft ab. Gemäss Aussagen von Wärmepumpenherstellern ist es selten der Fall, dass vor Ort wirklich jemand für die Anlage zuständig ist. Häufig seien gemäss Einschätzung eines Interviewpartners die Servicetechniker der Hersteller die einzigen, die Einstellungen an der Wärmepumpenanlage ändern. Weil externe Techniker für jede Anpassung eigens anreisen müssen, stellen sie die Anlage so ein, dass sie davon ausgehen können, sicher alle Komfortbedürfnisse damit zu befriedigen. Diese Tatsache wurde in mehreren explorativen Gesprächen bestätigt. Diese Einstellung widerspricht jedoch dem grundsätzlichen Anliegen einer Betriebsoptimierung. In der Optimierung müssten die Grenzen ausgelotet werden. Wo die Grenze liegt, weiss man jedoch erst, wenn man sie überschritten hat und wegen einer Reklamation wieder einen Schritt zurück muss. Genau dieses Ausloten müsste jedoch idealerweise jemand machen, der regelmässig vor Ort ist. Sonst sei gemäss Interviewpartner die Optimierung teuer oder die Beauftragten hätten kein Eigeninteresse, das Optimum zu finden.



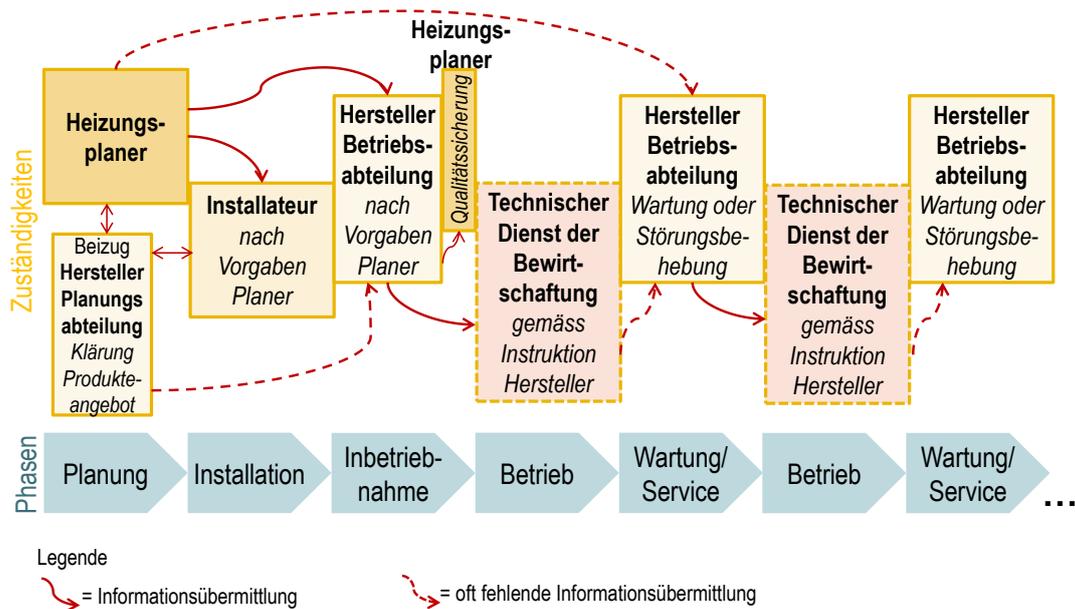
Figur 7: Organisation der Gebäudebewirtschaftung im Zusammenhang mit der Wärmepumpe (Gebäudetechnik)



Gemäss den Erfahrungen des befragten Betriebsoptimierers ist es bei grösseren Organisationen mit starker Arbeitsteilung oft so, dass der Hauswart gar nicht über die von der Eigentümerschaft oder der Verwaltung bestellte Betriebsoptimierung informiert ist. Der Hauswart ist jedoch die Ansprechperson der Betriebsoptimierer vor Ort. Eine Optimierung gelinge nur, wenn der Hauswart/die Hauswartin von Sinn und Nutzen überzeugt ist und für Anpassungen gewonnen werden kann. Das Vertrauen des Hauswarts/der Hauswartin in den externen Betriebsoptimierungsberater sei zentral für das Gelingen einer Optimierung.

2.4.3 Arbeitsteilung von Planung bis Wartung der Wärmepumpen

Die Literaturanalysen und Gespräche haben ergeben, dass neben der Arbeitsteilung im Betrieb einer Liegenschaft auch die Arbeitsteilung in den verschiedenen Phasen eines Bauwerks und damit auch des Einbaus einer Wärmepumpe ein Hindernis für den optimalen Wärmepumpenbetrieb sein kann. Die nachfolgende Figur illustriert, wer in den verschiedenen Phasen für die Betriebsparameter einer Wärmepumpenanlage zuständig ist, wie die Informationen fliessen sollten und gibt Hinweise, wo der Informationsfluss gemäss Gesprächen mangelhaft ist.



econcept

Figur 8: Zuständigkeiten und notwendige Informationsübermittlung für grosse Wärmepumpen nach Planungsphase

Planungsinformationen werden nicht in die Betriebsphase weitergegeben

In der Planungsphase legt bei grösseren Objekten – die im Fokus dieser Studie stehen – üblicherweise der/die Heizungsplaner/in die Leistungsparameter der Anlage fest. Üblicherweise ziehen diese bereits in der Planungsphase potenzielle Anlagenlieferanten (Planungsabteilung von Wärmepumpen-Hersteller bzw. -lieferanten) bei. Gemäss den



explorativen Gesprächen passieren gewisse Fehler bereits in der Planung. Viele Wärmepumpenanlagen würden geplant als handelte es sich um fossile Anlagen. Es wird nicht auf die Besonderheiten der Wärmepumpentechnologie Rücksicht genommen. Diese Planungsfehler führen dann zu im Betrieb ineffizienten Anlagen.

Die Installation der Anlage erfolgt durch den Installateur nach Vorgaben der Planer. Die Inbetriebnahme der Anlage wird durch die Service- oder Betriebsabteilung der Herstellerfirma vorgenommen. Die Inbetriebnahme sollte nach Vorgabe der Planung erfolgen. In der Planung gibt es oft einen intensiven Austausch zwischen Planenden und der Planungsabteilung des Herstellers zur optimalen Anlageausgestaltung. Die explorativen Gespräche haben jedoch ergeben, dass diese Informationen oft nicht von der Planungs- an die Betriebsabteilung des Herstellers für die Inbetriebnahme übermittelt werden.

Die Heizungsplaner sollten die Qualitätssicherung der Anlage garantieren, indem zumindest das Inbetriebnahmeprotokoll geprüft wird. Gemäss Gesprächen findet jedoch auch dieser Qualitätssicherungsschritt oft nicht statt. Nach Einschätzung des befragten Betriebsoptimierers müsste eigentlich verlangt werden, dass der Heizungsplaner das Gebäude mindestens über das erste Betriebsjahr begleitet und sicherstellt, dass das Gebäude gemäss der Planung betrieben wird. Dies sei heute jedoch kaum der Fall. Er verweist auf das QM Holzheizwerke⁹, ein Qualitätsmanagementsystem für grosse Holzheizwerke ab 150 kW, die Wärme produzieren und verteilen. Wichtiges Element dieses QM-Systems ist das erforderliche Betriebsoptimierungskonzept und eine abschliessende Prüfung durch den externen Qualitäts-Beauftragten frühestens ein Jahr nach Inbetriebnahme der Anlage. Das Wärmepumpen-System-Modul für kleine Anlagen bis 15 kW (vgl. Kapitel 2.5.1), sieht ebenfalls einen Besuch der Anlage durch den Lieferanten im zweiten Betriebsjahr vor. Auf Grund der Aussagen der befragten Lieferanten kann man jedoch davon ausgehen, dass dabei kaum Einstellungen verändert werden, solange sich diese in einem vertretbaren Bereich bewegen. Für grössere Wärmepumpen-Anlagen steht noch kein vergleichbares Standardvorgehen wie das System-Modul zur Verfügung.

Bezüglich der Inbetriebnahme und Betriebskontrolle zeigten die Gespräche, dass sich für das Speichermanagement als wichtige Komponente von Wärmepumpenanlagen ab der Inbetriebnahme niemand mehr wirklich zuständig fühlt. Denn der Wärmepumpenhersteller kümmere sich hauptsächlich um die Wärmepumpe selbst und wisse nicht, was der Planer mit dem Speichermanagement genau beabsichtigt hat. Der Planer ist jedoch nicht mehr vor Ort, sobald die Anlage einmal fertig gestellt ist.

Die Instruktion der Person vor Ort, die für die Anlage zuständig ist (z. B. Hauswart) erfolgt manchmal durch das Servicepersonal des Herstellers bei der Inbetriebnahme. Weil der Hauswart bei der Inbetriebnahme jedoch oft nicht anwesend ist – oder möglicherweise noch gar nicht festgelegt wurde – erfolgt seine Instruktion oft später durch die Heizungsinstallationsfirma.

⁹ <http://www.qmholzheizwerke.ch/home.html>



Bei den jährlichen Wartungsbesuchen im Rahmen von Serviceverträgen der Hersteller ist häufig (in rund 70% der Fälle gemäss Interviewpartner) keine Vertretung der Personen vor Ort, die von Seiten Liegenschaft für die Wärmepumpe zuständig ist. Das Servicepersonal erhält damit kaum Rückmeldungen zu den Erfahrungen mit der Anlage – ausser bei Reklamationen oder Störungen. Zudem liegen selten aktualisierte Wartungsbücher vor, in welchem Einstellungsänderungen und ihre Ursachen dokumentiert wären. Wenn eine Anlage bei -7 Grad Aussentemperatur auf 45° Vorlauf eingestellt ist, liege das noch im Rahmen und werde gemäss Hersteller nicht angepasst. In der Planung wären vielleicht 40° vorgesehen gewesen, aber diese Unterlagen werden beim Servicebesuch nicht konsultiert oder liegen dem Servicepersonal oft gar nicht vor. Solange der übliche Rahmen eingehalten werde und die Kunden zufrieden seien, verändern die Serviceleute gemäss Aussagen der Interviewpartner von Herstellerseite nichts. Auch wenn es sich vielleicht bei dieser Einstellung noch um eine Massnahmen aus der Bauaustrocknungsphase handelt, die im Normalbetrieb nicht mehr nötig wäre. Anpassungen werden durch das Servicepersonal fast nur bei einer zu hohen Taktung vorgenommen.

Nachteilige gegenseitige Abhängigkeiten

In den explorativen Gesprächen wurde darauf hingewiesen, dass bei Inbetriebnahmen regelmässig Fehler in der Installation gefunden würden. Weil die Installateure jedoch die wichtigsten Kunden der Wärmepumpen-Hersteller sind, gehen die Hersteller in diesen Fällen oft Kompromisse bezüglich Effizienz ihrer Anlagen ein – zu Gunsten eines ungeübten Verhältnisses mit den Installateuren. Zudem verweist der Installateur häufig auf die Planer, welche die Fehler verursacht hätten. Weil wiederum die Planer wichtige Kunden der Installateure sind, haben auch die Installateure wenig Interesse, solche Fehler aufzudecken. Am Ende dieser Kettenreaktion von Kompromissen steht schliesslich eine Wärmepumpenanlage, die weniger effizient arbeitet als vorgesehen. Es kann sein, dass die Eigentümerschaft von Miet-Wohngebäuden wegen der oben skizzierten starken Arbeitsteilung bei der Gebäudebewirtschaftung gar nie etwas von den überhöhten Energiekosten erfahren. Zudem zahlen im Fall von Miet-Wohngebäuden die Mietenden den Preis der ineffizienten Anlage. Hinzu kommt das Problem, dass häufig die Messinstrumente zur Beurteilung der Anlageeffizienz gar nicht vorhanden sind.

Externe Anlage-Kontrollen

Bei den fossilen Heizungen stellen gesetzliche Vorgaben sicher, dass sie in regelmässigen Abständen von externen Fachpersonen kontrolliert werden: einerseits bezüglich Emissionswerten (Feuerungskontrolle) und andererseits bezüglich Brandprävention (Kaminfeger). Die Emissionswerte erlauben in gewissem Rahmen auch Aussagen zur Effizienz des Brenners und können so als Effizienzindikator dienen. Bei den Wärmepumpenanlagen fehlt eine systematische externe Kontrolle der Anlagen bzw. sie beschränkt sich auf die periodische Dichtigkeitskontrolle für Anlagen mit mehr als 3 kg Kältemittel (ge-



mäss der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung)¹⁰. Die Dichtigkeitskontrolle lässt keine Rückschlüsse auf die Anlageeffizienz zu. Zudem haben die Begehungen im Rahmen der vorliegenden Studie gezeigt, dass diese Kontrollgänge in der Regel nicht für anderweitige Kontrollen genutzt werden.

Möglicherweise sei wegen den fehlenden gesetzlichen Anforderungen das Produkt der Wartungsverträge und der Garantieverlängerung ein relativ junges Angebot bei den Wärmepumpenherstellern. AIT beispielsweise habe bis vor kurzem nur die Inbetriebnahme gemacht und sei nachher nur ausgerückt, wenn eine Anlage eine Störung hatte oder bei Garantiefällen. Neu bieten fast alle Hersteller auch Wartungs- bzw. Serviceverträge an. AIT wirbt beim Sorglos-Paket mit einer «gesteigerten Effizienz» dank dem Servicevertrag¹¹. Dabei gehe es insbesondere um die Kontrolle der Taktung. Andere Einstellungen würden nicht angepasst. Man sei sehr vorsichtig mit Änderungen an den Anlagen, weil man damit riskiere, wegen Nutzer-Reklamationen nochmals ausrücken zu müssen. Dies wurde auch vom Vertreter von Hoval bestätigt.

2.4.4 Fazit zu den Hemmnissen für einen energieoptimierten Betrieb von Wärmepumpen aus Literatur und Gesprächen

Nachfolgend werden die Faktoren zusammengefasst, die gemäss Recherchen für das vorliegende Projekt dazu beitragen, dass Wärmepumpenanlagen oft nicht energieoptimal betrieben werden.

Mangelnder Anreiz für Gebäudeeigentümerschaften und Verwaltungen

Die Gebäudeeigentümerschaft eines Mietwohngebäudes hat kurzfristig betrachtet wenig finanziellen Anreiz, eine Betriebsoptimierung auszulösen. Das Honorar für die Betriebsoptimierer/innen müsste die Eigentümerschaft bezahlen. Es kann in der Regel auch nicht auf die Nebenkosten überwältigt werden. Von den Energie- und Kosteneinsparungen profitieren hingegen die Mieter (Mieter-Vermieter-Dilemma).

Die von der Eigentümerschaft beauftragten Gebäudeverwaltungen und FM-Unternehmen haben ebenfalls wenig Anlass, einen energieoptimierten Anlagebetrieb aktiv anzustreben. Denn Facilitymanagement-Aufgaben werden oft mit Pauschalen honoriert oder – für das Energieanliegen noch nachteiliger – in Prozent der Nebenkosten. Zudem ist die Energieoptimierung nicht Teil der Pflichtenhefte, weder für das Facilitymanagement noch für die Hauswarte/innen.

Fehlende Informationen

Wegen der ausgeprägten Arbeitsteilung in der (Miet-)Liegenschaftsbewirtschaftung liegen die relevanten Informationen bei unterschiedlichen Personen/Stellen. Beispielsweise

¹⁰ Gemäss der Wegleitung des Bundesamts für Umwelt (BAFU 2006) müssen Kompaktanlagen, die industriell gefertigt und geprüft wurden (z. B. Kompakt-Wärmepumpen mit geschlossenem Kältekreislauf) erst 6 Jahre nach Inbetriebnahme, dann nach 4 Jahren und anschliessend alle 2 Jahre geprüft werden. Vor Ort gefertigte Kältekreisläufe müssen ein erstes Mal nach 2 Jahren und dann jährlich geprüft werden.

¹¹ <http://www.alpha-innotec.ch/alpha-innotec/service/service-und-wartung.html> (Stand 6.2.2017)



sind die Informationen zum Energieverbrauch zwar vorhanden, werden aber nicht systematisch an die Technikverantwortlichen geleitet und nicht im Hinblick auf Effizienzfragen ausgewertet.

Kommt hinzu, dass an den Anlagen selbst meistens Messinstrumente zur Beurteilung der Anlageneffizienz fehlen. Dabei geht es insbesondere um Stromzähler für die Wärmepumpe und die Zusatzaggregate und Wärmehzähler an der Wärmepumpe. Diese Zähler nützen jedoch nur, wenn sie periodisch ausgelesen und die Zahlen anschliessend richtig interpretiert werden.

Die Arbeitsteilung von der Planung über die Installation bis zur Inbetriebnahme und dem Betrieb der Wärmepumpe würde funktionierende Informationsflüsse bedingen. Allerdings gelangen in der Praxis fundamentale Informationen aus der Planung nicht zu den für Inbetriebnahme und Betrieb verantwortlichen Personen.

Auch innerhalb der Betriebsphase selbst erhalten die Serviceverantwortlichen selten Rückmeldungen aus dem Betrieb – ausser es gibt Reklamationen, die meistens zu kalte Räume betreffen.

Oft fehlt dem Servicepersonal eine Ansprechperson vor Ort. Deshalb kann nicht nach den Gründen für bestimmte Einstellungen gefragt werden. Solange sich die vorgefundenen Einstellungen in einem grosszügig bemessenen, plausiblen Rahmen befinden, werden keine weiteren Schritte unternommen.

Rolle des Hauswarts/der Hauswartin

Die immer komplexere Technik auf allen Ebenen – nicht nur bei der Wärmepumpe – führt dazu, dass sich die zuständigen Personen vor Ort, meistens die Hauswarte/innen, vermehrt überfordert fühlen. Man will alles an die externen Techniker delegieren.

Wenn eine Fachperson für Betriebsoptimierungen auf eine Anlage kommt, gelingen energetische Betriebsoptimierungen dort, wo der/die zuständige Hauswart/in sich für das Thema interessiert. Zudem ist das Vertrauen des Hauswarts/Hauswartin eine zentrale Voraussetzung. Denn die Verantwortlichen vor Ort müssen die Anpassungen gutheissen und gegenüber den Nutzenden vertreten bzw. bei Reklamationen Anpassungen vornehmen.

Aufwandoptimierung auf Seiten Service

Die externen Techniker (Servicepersonal der Lieferanten) werden oft pauschal im Rahmen eines Service-Abonnements bezahlt. Sie profitieren davon, wenn sie möglichst selten auf eine Anlage gehen müssen. Deshalb stellen sie die Anlage in allen Punkten so ein, dass sicher alle Wärmekomfortwünsche abgedeckt werden können. Denn Reklamationen wegen zu warmen Räumen gibt es kaum, weil die Nutzenden sich in diesen Fällen mit dem Öffnen der Fenster selbst helfen.



Qualitätssicherung

Eine systematische Qualitätssicherung nach Inbetriebnahme, indem der Planer/die Planerin das Inbetriebnahmeprotokoll verifiziert, fehlt oft. Noch häufiger fehlt die Begleitung der Anlage durch den/die Planer/in über ein vollständiges Betriebsjahr.

Fossile Anlagen müssen wegen gesetzlichen Vorschriften (Emissionskontrolle und Brandprävention) alle zwei Jahre von einer externen Fachperson (Feuerungskontrolleur und/oder Kaminfeger) kontrolliert werden. Eine vergleichbar enge Begleitung gibt es für die Wärmepumpenanlagen nicht. Kompaktanlagen müssen erst nach sechs Jahren zum ersten Mal bezüglich Dichtigkeit kontrolliert werden. Zudem ergibt die periodische Kontrolle der Dichtigkeit keine Hinweise auf die Anlageeffizienz.

Die Arbeitsteilung in der Planungs- und Installationsphase führt zu verschiedenen Abhängigkeitsverhältnissen unter den Anbietern: Installateure/innen sind die Kunden der Heizungslieferanten, die Planer/innen sind die Kunden der Installateure/innen. Das kann dazu führen, dass versucht wird, Fehler, die auf der Seite der eigenen Kunden entstanden sind, mit Kompromisslösungen abzumildern. Diese wirken sich jedoch nachteilig auf die Effizienz der Anlage aus.

Technische Herausforderung

In der Planung komme es immer wieder vor, dass Wärmepumpenanlagen geplant werden, als würde es sich um Anlagen mit fossilen Energieträgern handeln. Es wird teilweise zu wenig auf die spezifischen Eigenschaften der Wärmepumpentechnologie Rücksicht genommen, was sich schliesslich negativ auf den Betrieb auswirkt.

2.5 Bestehende Ansätze zur Förderung von Betriebsoptimierungen

Nachfolgend wird skizziert, welche Förderaktivitäten es auf nationaler und kantonaler Ebene gibt zur Unterstützung der energetischen Betriebsoptimierung in Wohnbauten. Der Fokus lag bisher vor allem auf der Betriebsoptimierung in Betrieben und in Gewerbe- und Dienstleistungsbauten inkl. Spitälern, Schulen, Hotels u. ä. Erst seit kurzem rückt der Bedarf an energetischer Optimierung auch bei Wohnbauten stärker in den Fokus und damit die Bemühungen, diese Objektzielgruppe besser zu erreichen. Die nachfolgende Zusammenstellung gibt einen Überblick, es handelt sich jedoch nicht um eine Vollerhebung der Förderung von Betriebsoptimierungen in allen Kantonen.

2.5.1 Knowhow etablieren und sichern

Verein energo

Der Verein energo wurde 2001 gegründet und gehört zum Programm von Energieschweiz. Damals lag der Fokus auf der Betriebsoptimierung für grössere öffentliche Bauten. Unterdessen hat sich energo zum Kompetenzzentrum für Energieeffizienz für grosse Bestandesbauten entwickelt. Wohnbauten gehören ab 40 Wohnungen zur Zielgruppe von



energo. Die Betriebsoptimierungen werden von akkreditierten Betriebsoptimierern durchgeführt. Die Beratungsangebote von energo werden nicht direkt finanziell gefördert. energo wirbt damit, dass die Kosten der Betriebsoptimierung innert zwei Jahren durch die erzielten Energieeinsparungen amortisiert werden. Dieses Argument spielt jedoch nur, wenn die Gebäudenutzenden diejenige sind, die die Optimierung initiieren und finanzieren. Ansonsten fallen die Kosten bei der Eigentümerschaft an, der Nutzen jedoch bei den Mietenden.

Gemäss einer kürzlich erfolgten Evaluation des Vereins energo (Hammer et al. 2016a) kommen gut 70% des Gesamtbudgets von energo aus diesen Dienstleistungsverträgen, was den Aufwand in diesem Bereich deckt. Von der öffentlichen Hand gefördert werden insbesondere die Marktbearbeitungsaktivitäten, der Aufwand für die Geschäftsstelle und die Produktentwicklung.

Die Evaluation des Vereins energo zeigte, dass sich energetische Betriebsoptimierungen trotz guter Rentabilität noch nicht etabliert haben. Gerade im Mietwohnungsbereich sei dafür das «Auseinanderfallen der Interessen» von Gebäudeeigentümerschaft und Mietenden relevant. Es sei weiterhin Sensibilisierungs- und Überzeugungsarbeit nötig.

Heizungs-Check

In den Kantonen Luzern, Aargau und Thurgau gibt es den so genannten «Heizungs-Check», der unter der Leitung der Firma OekoWatt GmbH und in Zusammenarbeit mit WWF Schweiz und suissetec entwickelt wurde. In den Kantonen Luzern und Aargau können sich private Heizungsinstallateure/innen schulen und für das Förderprogramm akkreditieren lassen. Im Kanton Thurgau führen sechs kantonale Energieberater/innen die Checks durch. Die Überprüfung der Heizungseinstellungen wird durch die Kantone stark vergünstigt. Bei der Begehung werden direkt vor Ort Massnahmen an der Heizungssteuerung, der Wärmeverteilung und der Wärmeabgabe vorgeschlagen, die den Energieverbrauch senken können. Die Hauptzielgruppe des Heizungs-Checks sind jedoch Gebäude mit fossilen Heizungen und nicht Wärmepumpenanlagen. Ziel des Angebots wäre es nämlich auch, die Gebäudeeigentümerschaften mit älteren Heizungen für einen möglichen Ersatz mit einem nicht fossilen System zu interessieren.

Wärmepumpen-System-Modul

Das Wärmepumpen-System-Modul regelt und standardisiert die Abläufe von der Planung bis zur Inbetriebnahme von Wärmepumpen mit einer Leistung bis 15 kW. Ziel des 2014 eingeführten Moduls ist es, dass optimal aufeinander abgestimmte Anlagekomponenten verwendet werden und die Aufgaben und Schnittstellen zwischen Planer, Lieferant, Installateuren etc. klar definiert sind. Zudem umfasst das System-Modul eine Nachkontrolle der Anlage im 2. Betriebsjahr: «Eine Nachkontrolle der Betriebsparameter hinsichtlich Anlageeffizienz-Optimierung ist im 2. Betriebsjahr durch den Lieferanten durchzuführen» (Zitat aus WPSYSTEMMODUL. Pflichtenheft. Version: 16.4.2016). Damit soll es gelingen, die Anlagen in einen auch energetisch optimierten Betrieb überzuführen.



EnergieSchweiz und die FWS (Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz) haben die Entwicklung des Wärmepumpen-System-Moduls für Wärmepumpen bis 15 kW Leistung finanziert. Die Branchenverbände suissetec, FWS, GebäudeKlima Schweiz GKS und der Schweizerische Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren SWKI waren an der Entwicklung beteiligt. In den meisten Kantonen werden nur noch Wärmepumpenanlagen finanziell gefördert, die gemäss dem Wärmepumpen-System-Modul geplant und gebaut wurden.

Kürzlich wurde von der Hochschule Luzern geprüft, inwiefern sich die Ansätze aus dem System-Modul bis 15 kW Leistung auf Anlagen mit mehr als 15 kW Leistung übertragen lassen. Allerdings wurden diese Bestrebungen abgebrochen, weil die Verbände der Installateure/innen die Ausweitung auf grössere Anlagen ablehnten.

Aus- und Weiterbildung

Sämtliche Aus- und Weiterbildungsangebote zum Thema energetischer Betriebsoptimierung der Gebäudetechnikbranche, der Wärmepumpenbranche (z. B. FWS Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz) oder auch der Bewirtschaftungsbranche verbessern die Rahmenbedingungen für die Betriebsoptimierung in Wohngebäuden. Es sprengt jedoch den Rahmen dieser Studie, diese Aktivitäten zusammenzutragen.

Die Frage, ob Aus- und Weiterbildung für spezifische Anspruchsgruppen oder mit einem spezifischen Fokus zu einem optimierten Betrieb der Anlagen führen würde, wird mit Experten/innen im Anschluss an die Datenauswertung diskutiert.

2.5.2 Finanzielle Beiträge

Programm energo und KliK

Um das Mieter-Vermieter-Dilemma aufzuheben hat energo kürzlich in Zusammenarbeit mit KliK (Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation) das Programm «energo CO₂» zur Emissionsverminderung im Inland gemäss CO₂-Gesetz entwickelt. Das Programm startete im Frühling 2017. Der Mechanismus sieht vor, dass die Gebäudeeigentümerschaften von Mehrfamilienhäusern die CO₂-Emissionen, welche durch die energetische Betriebsoptimierung mit energo eingespart werden, durch KliK vergütet erhalten. Im Fokus stehen dabei grössere Mehrfamilienhäuser mit fossilen Heizungen. Wärmepumpenanlagen sind zwar nicht ausgeschlossen. Der CO₂-Effekt der Optimierung und damit die Auszahlung an die Eigentümerschaft sind bei nicht-fossilen Heizungen jedoch deutlich geringer.

Pro Kilowatt

Der Verein InfraWatt (Verein für die Energienutzung aus Abwasser, Abfall, Abwärme und Trinkwasser) bietet im Rahmen eines Pro-Kilowatt-Projekts ein Förderprogramm Gebäudetechnik für Dienstleistungsgebäude an. Darin ist auch die Finanzierung der vorgängigen Energieanalyse von 50% enthalten, sofern mindestens eine der empfohlenen Massnahmen umgesetzt wird. Generell werden jedoch bei den Wettbewerblichen Ausschreibungen von Pro Kilowatt, dem nationalen Programm für den effizienten Stromeinsatz,



keine Betriebsoptimierungen gefördert. Unterstützt werden Investitionsmassnahmen wie der Ersatz von Elektroboilern durch Wärmepumpenboiler, der Ersatz von Umwälzpumpen für die Heizung durch effiziente Modelle u. ä.

Kanton St. Gallen

Der Kanton St. Gallen fördert seit kurzem die Betriebsoptimierung für KMU, Dienstleistungsbauten und explizit auch für Mehrfamilienhäuser («Betriebsoptimierung Energie mit Umsetzungsbegleitung für KMU, Dienstleistungsbauten und Mehrfamilienhäuser»). Gefördert wird die Betriebsoptimierung von Gebäuden und Anlagen mit einer Erstbegehung, einem Bericht und der Begleitung der Umsetzung der empfohlenen Massnahmen. Die Förderbeiträge umfassen CHF 1'300.- für die Erstbegehung samt Bericht und CHF 700.- für die Umsetzungsbegleitung. Durchgeführt werden die Betriebsoptimierungen durch Fachpersonen, die entweder durch act (Cleantech Agentur Schweiz) oder EnAW (Energie-Agentur der Wirtschaft) und zusätzlich durch energo akkreditiert sind.

Kanton Zürich

Von 2016 bis 2018 läuft im Kanton Zürich ein Pilotprojekt in Zusammenarbeit mit energo. Der Kanton steuert als Anschubfinanzierung 20% an die Abonnementskosten von energo bei¹². Die Auswertung des Pilotprojekts soll unter anderem aufzeigen, wie viel tatsächlich durch Betriebsoptimierungen in den unterstützten Gebäuden eingespart wurde¹³. Die Anschubfinanzierung ist mit dem Programm von KliK und energo (vgl. oben) kombinierbar.

2.5.3 Regulatorisches: MuKE n 2014

In den Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich 2014 (MuKE n 2014) sieht das freiwillige Modul 8 zwar eine periodische Betriebsoptimierung für Bauten mit hohem Verbrauch vor. Wohngebäude sind jedoch von der Pflicht ausgenommen.

¹² <http://www.energo.ch/index.html?p=27> [Stand 15.5.2017]

¹³ Auskunft Roland Stadelmann, Telefongespräch vom 13.4.2017



3 Theoretische Grundlagen der Feldstudie

3.1 Untersuchungsgegenstand

3.1.1 Auswahlkriterien Liegenschaften

Hauptbedingung für die Vorauswahl der Liegenschaften war, dass das Gebäude über eine Wärmepumpenanlage verfügt und die Umweltwärme (Luft, Erdwärme, Grundwasser) als Wärmequelle genutzt wird.

Die nachfolgenden Kriterien wurden nach Möglichkeit eingehalten. Es gibt vereinzelt Liegenschaften, die nicht alle der nachfolgenden Punkte erfüllen.

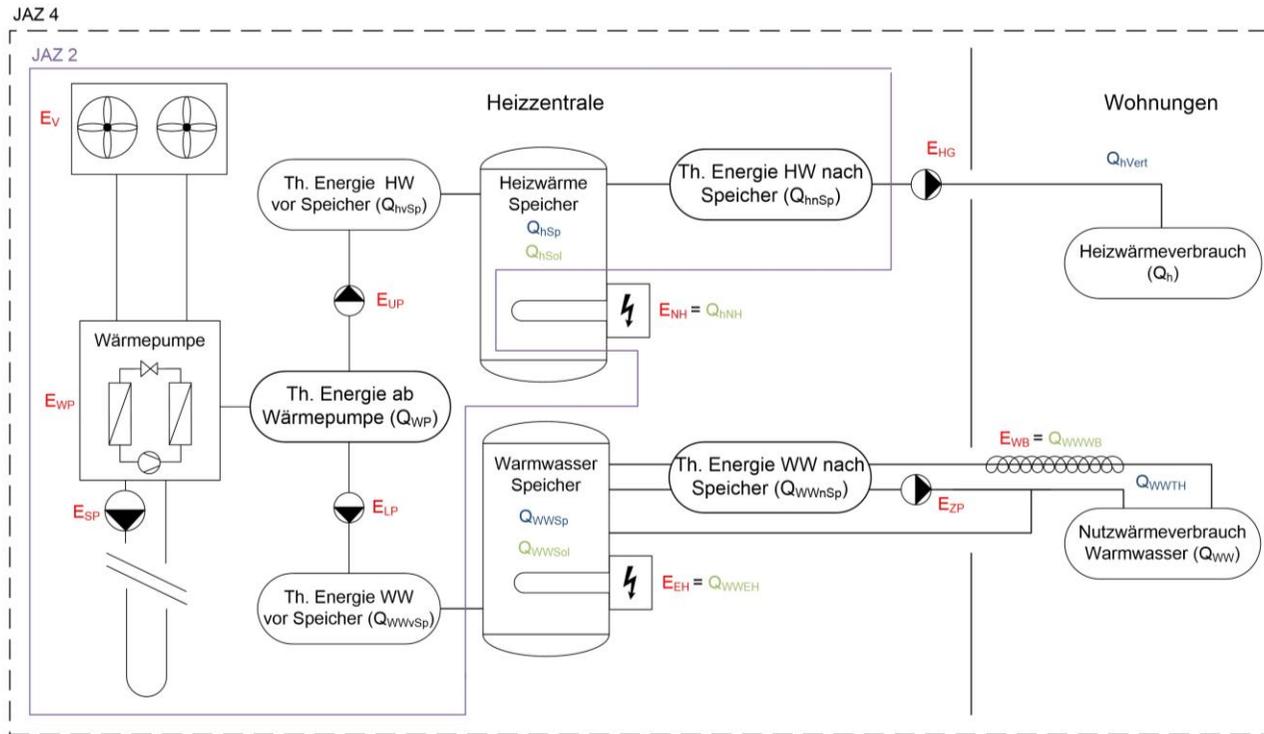
- Inbetriebsetzung der Anlage vor 2014 und unterbruchfreier Betrieb bis heute.
- Ganzjährige Erzeugung von Heizwärme und Warmwasser zu 100 % durch Wärmepumpe (monovalent).
- Hochhaltung der Warmwassertemperatur durch Zirkulationsleitung oder Warmhalteband.
- Verbrauchsdaten: Elektrizitätsverbrauch Wärmepumpe in kWh/a für zwei volle Betriebsjahre (idealerweise 2014 bis 2016).
- Verbrauchsdaten: Thermischer Energieverbrauch Heizwärme in kWh/a für zwei volle Betriebsjahre (idealerweise 2014 bis 2016).
- Verbrauchsdaten: Thermischer Energieverbrauch Warmwasser in kWh/a oder Warmwasserverbrauch in m³/a für zwei volle Betriebsjahre (idealerweise 2014 bis 2016).

3.1.2 Systemgrenzen

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) ist das Verhältnis der produzierten Wärmemenge zur aufgenommenen Strommenge über ein ganzes Jahr. Je nach verwendeter Systemgrenze werden unterschiedliche JAZ gebildet, die zu unterschiedlichen Aussagen führen. Bisherige Untersuchungen und Grenzwerte im Vollzug (Kantone und Minergie) basieren meist auf der JAZ 2 gemäss Erb et al. 2004: «Verhältnis zwischen der Wärmemenge ab Wärmepumpe respektive ab Speicher, sofern vorhanden, inklusive elektrischer Zusatzheizungen (für Raumheizung und Warmwasser, letzteres nur, wenn Warmwasser in Wärmepumpenanlage eingebunden) und dem Wärmepumpe-spezifischen Elektrizitätsbedarf, inklusive aller Hilfsaggregate wie Umwälzpumpen (total) und Carterheizung [Carterheizung = elektrisches Abtauen bei Luft-Wasser-Wärmepumpe, Anm. der Verf.]» Diese Definition hat den Nachteil, dass sich diverse Energieeinträge oder Verluste ausserhalb der Systemgrenzen befinden und somit die Effizienz der Anlage auf Stufe Endenergie nicht komplett abgebildet wird.



Für die vorliegende Studie wurde daher die JAZ 4 definiert. Sie ist umfassender als die JAZ 2 und berücksichtigt zusätzlich auch die Verteil- und Warmhalteverluste sowie den Energieeintrag ins Warmwasser durch den Elektroheizeinsatz. Ebenso kann das Vorhandensein einer solarthermischen Anlage berücksichtigt werden (siehe Kap. A-1.4.5). Die nachfolgende Figur illustriert die Systemgrenzen der üblicherweise verwendeten JAZ 2 und der für die vorliegende Studie verwendeten JAZ 4.



E_V	= Elektrizitätsverbrauch Ventilator (Luft-Wasser WP)	Q_{WP}	= Thermische Energie ab Wärmepumpe
E_{SP}	= Elektrizitätsverbrauch Solepumpe (Sole-Wasser WP)	Q_{hVSp}	= Thermische Energie Heizwärme vor Speicher
E_{WP}	= Elektrizitätsverbrauch Wärmepumpe	Q_{hNSp}	= Thermische Energie Heizwärme nach Speicher
E_{LP}	= Elektrizitätsverbrauch Ladepumpe Warmwasser	Q_{wwVSp}	= Thermische Energie Warmwasser vor Speicher
E_{UP}	= Elektrizitätsverbrauch Umwälzpumpe Heizwasser	Q_{wwNSp}	= Thermische Energie Warmwasser nach Speicher
E_{EH}	= Elektrizitätsverbrauch Elektroheizeinsatz	Q_{hSol}	= Thermischer Energieeintrag Solarthermie Heizwärme
E_{NH}	= Elektrizitätsverbrauch Notheizung	Q_{wwSol}	= Thermischer Energieeintrag Solarthermie Warmwasser
E_{HG}	= Elektrizitätsverbrauch Heizgruppenpumpen	Q_{hNH}	= Thermischer Energieeintrag Notheizung Heizwärme
E_{WB}	= Elektrizitätsverbrauch Warmhalteband	Q_{wwEH}	= Thermischer Energieeintrag Elektroheizeinsatz Warmwasser
E_{ZP}	= Elektrizitätsverbrauch Zirkulationspumpe	Q_{wwWB}	= Thermischer Energieeintrag Warmhalteband
		Q_{hSp}	= Thermischer Energieverlust Heizwärme Speicher
		Q_{wwSp}	= Thermischer Energieverlust Warmwasser Speicher
		Q_{hVert}	= Thermischer Energieverlust Verteilung Heizwärme
		Q_{wwTH}	= Thermischer Energieverlust Temperaturhochhaltung Warmwasser

Figur 9: Systemgrenzen zur Berechnung der JAZ 1, 2, 3, 4 Es wird JAZ 4 verwendet. Quelle: Erb et al. 2004



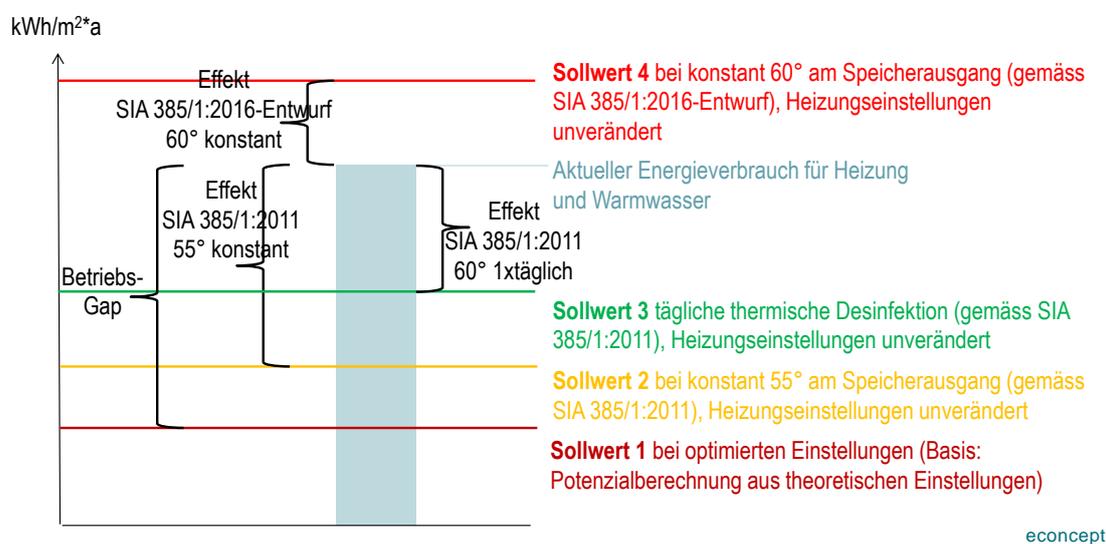
3.1.3 Definition Betriebs-Performance Gap

Im Fokus der vorliegenden Studie steht der «Betriebs»-Performance-Gap. Damit ist ein allenfalls überhöhter Energieverbrauch gemeint, der seine Ursache in zu konservativen Einstellungen an Heizung und Warmwasseraufbereitung bei Gebäuden mit Wärmepumpen hat.

Aus diesem Grund wird bei jedem Objekt der ermittelte Energieverbrauch verglichen mit einem individuellen Sollwert. Bei diesem Sollwert handelt es sich um den Energieverbrauch, der mit energetisch optimierten Betriebseinstellungen der Wärmepumpe und allfälliger Zusatzaggregate erreicht werden kann, wenn alles andere gleich bleibt (Sollwert 1).

Im Verlauf der Untersuchung hat sich die Notwendigkeit ergeben, den Sollwert 1 um weitere Sollwerte zu ergänzen. Mit den Sollwerten 2 bis 4 wird zusätzlich der Einfluss der SIA-Norm 385 – mit ihren Vorgaben betreffend der thermischen Desinfektion zum Schutz vor Legionellen – auf den Energiebedarf untersucht. Die berücksichtigten Sollwerte werden in Kapitel 3.3 näher beschrieben.

Nachfolgend findet sich eine vereinfachende Übersicht zu den berücksichtigten Sollwerten:



Figur 10: Illustration des Betriebsperformance-Gaps und der verschiedenen weiteren untersuchten Abweichungen in Abhängigkeit der Einhaltung der Vorgaben von SIA 385/1:2011 bzw. 2016-Entwurf.

Das Berechnungsmodell und das detaillierte Vorgehen für die Berechnungen werden im Anhang ausführlich beschrieben (vgl. A-1).



3.2 Grundlagendaten

3.2.1 Reale Energieverbrauchsdaten

Die Berechnungen werden mit realen Energieverbrauchsdaten durchgeführt. Die Figur 9 mit den Systemgrenzen zur Berechnung der JAZ zeigt die möglichen Messstellen in Wärmepumpensystemen auf. Folgende Kombinationsmöglichkeiten der Energieverbrauchsdaten können vom Berechnungstool verarbeitet werden.

- 1 Angabe Elektrizitätsverbrauch Wärmepumpe und Hilfsbetriebe (E_{WP} , E_V , E_{SP} , E_{UP} , E_{LP}) sowie thermische Energie ab Wärmepumpe in kWh/a (Q_{WP}) und thermische Energie Warmwasser in kWh/a vor/nach dem Speicher (Q_{WWvSp}/Q_{WWnSp}) oder in der Wohnung (Q_{WW}) oder Warmwasserverbrauch im m^3/a .
- 2 Angabe Elektrizitätsverbrauch Wärmepumpe und Hilfsbetriebe (E_{WP} , E_V , E_{SP} , E_{UP} , E_{LP}) sowie Angabe thermische Energie ab Wärmepumpe in kWh/a (Q_{WP}) und thermische Energie Heizwärme in kWh/a vor/nach dem Speicher (Q_{hvSp}/Q_{hnSp}) oder in der Wohnung (Q_h).
- 3 Angabe Elektrizitätsverbrauch Wärmepumpe und Hilfsbetriebe (E_{WP} , E_V , E_{SP} , E_{UP} , E_{LP}) sowie thermische Energie Heizwärme in kWh/a vor/nach dem Speicher (Q_{hvSp}/Q_{hnSp}) oder in der Wohnung (Q_h) und thermische Energie Warmwasser in kWh/a vor/nach dem Speicher (Q_{WWvSp}/Q_{WWnSp}) oder in der Wohnung (Q_{WW}) oder Warmwasserverbrauch in m^3/a .

3.2.2 Aktuelle Anlagenparameter und Gebäudedaten

Die aktuellen Anlagenparameter und Gebäudedaten wurden während der ersten Begehung mit Hilfe eines Erhebungstools erfasst. Dieses beinhaltet zwingende und optionale Angaben. Die zwingenden Angaben dienen der Berechnung der Wärmepumpenanlage im Berechnungstool. Die optionalen Angaben helfen dem Projektteam, die Situation und somit das Optimierungspotenzial besser einschätzen zu können. Weiter wird zwischen veränderbaren und unveränderbaren Parametern unterschieden. Die veränderbaren Parameter werden für die Berechnung der unterschiedlichen Sollwerte angepasst. Die unveränderbaren Parameter entsprechen in jedem Fall dem IST-Zustand.

Des Weiteren wurden einige Zusatzinformationen gesammelt, die nur indirekt etwas mit der vorliegenden Studie bzw. deren Ziel zu tun haben (z. B. Angabe über das Vorhandensein eines Thermosiphons am Warmwassererzeuger). In den nachfolgenden Tabellen sind die wichtigsten Erfassungsparameter aufgelistet.



Zwingende Anlagenparameter und Gebäudedaten	
Veränderbare Parameter	
Stetige Temperatur Warmwasser	Gibt Aufschluss über das mögliche Optimierungspotenzial
Temperatur und Häufigkeit der Legionellenschaltung	Gibt Aufschluss darüber, ob die aktuell geltenden Normen eingehalten werden und ob ein Optimierungspotenzial besteht.
Temperatur der Temperaturhochhaltung in den Leitungen	Die Angabe gibt zusammen mit der Technologie der Legionellenschaltung Aufschluss über die Verluste und das Optimierungspotenzial
Heizkurve	Gibt zusammen mit der Gebäudekategorie (Neubau bis unsaniert) und der Art der Wärmeabgabe (Fussbodenheizung, Radiatoren) Aufschluss über das mögliche Optimierungspotenzial
Heizgrenze (24 h Mittelwert)	Gibt zusammen mit der Gebäudekategorie Aufschluss über das mögliche Optimierungspotenzial.
Unveränderbare Parameter	
Wärmequelle	Zur Berechnung des COP der Wärmepumpe muss eine Quelltemperatur vorhanden sein. Diese ist abhängig von der Wahl der Wärmequelle (Aussenluft, Erdsonde, Grundwasser)
Hersteller der Wärmepumpe	Für die Berechnung wird ein für den Hersteller typischer COP eingesetzt. Die Angaben dazu stammen aus der Datenbank des WPEsti.
Thermische Leistung der Wärmepumpenanlage	Wird für die Berechnung benötigt und liefert zusammen mit der Energiebezugsfläche eine Angabe zur Dimensionierung der Wärmepumpe.
Technologie der Legionellenschaltung	Es bestehen die drei Möglichkeiten Zirkulation, Warmhalteband oder ohne Temperaturhochhaltung.
Volumen Warmwasserboiler, Dämmstärke und Anzahl der «warmen» Anschlüsse	Bildet die Grundlage zur Berechnung der Speicherverluste im Warmwasserboiler.
Gebäudekategorie	Die Gebäude werden in drei Kategorien eingeteilt (Neubau/Gesamterneuerung, Teilerneuerung, Unsaniert). Die Kategorien werden benötigt, um den Heizwärmeverbrauch gemäss der BIN-Methode über das Jahr zu verteilen. (Siehe Kap. A-1.3.2). Zudem gibt die Kategorie Anhaltspunkte für die Qualität der Gebäudehülle.
Energiebezugsfläche	Dient als Bezugsgrösse zur Bildung von Energiekennzahlen und Plausibilisierung des gemessenen/berechneten Energieverbrauchs unter Berücksichtigung der Gebäudekategorie.
Energieverbrauchsdaten	Die eingegebenen Energieverbrauchsdaten werden für die Berechnung an sich und zur Validierung des Berechnungsmodells benötigt.

Tabelle 3: Übersicht zwingende Anlagenparameter und Gebäudedaten



Optionale Anlagenparameter und Gebäudedaten (unveränderbar)	
Angaben zu den gedämmten Bauteilen	Anhaltspunkt über den Dämmstandard des Gebäudes zur Einordnung in die Gebäudeeinteilung und Plausibilisierung der gemessenen/berechneten Energiekennzahlen.
Anzahl Betriebsstunden der Wärmepumpenanlage seit Inbetriebnahme.	Unter Berücksichtigung des Inbetriebnahme Datums können die jährlichen Betriebsstunden berechnet werden. Betriebsstunden über 2'400 h pro Jahr weisen auf eine Unterdimensionierung, Betriebsstunden unter 1'800 h pro Jahr auf eine Überdimensionierung der Wärmepumpe hin.
Anzahl Starts der Wärmepumpenanlage	Zusammen mit den Anzahl Betriebsstunden seit der Inbetriebnahme kann die durchschnittliche Laufzeit der Wärmepumpenanlage berechnet werden. Das Optimum liegt bei 30 min. Sehr kurze oder sehr lange Laufzeiten, weisen auf eine falsche Dimensionierung der Komponenten (Wärmepumpe, Speicher) hin, was die Effizienz der Anlage negativ beeinflusst.
Art der Brauchwarmwassererzeugung	Unterscheidung zwischen Warmwasserboiler, Frischwasserstation, Kombispeicher und Elektroboiler.
Art der Freigabe der Legionellenschaltung	Liefert Anhaltspunkte betreffend der Häufigkeit der Legionellenschaltung und dem Optimierungspotenzial mit Hilfe der vorhandenen Komponenten.
Steuerung und Zeitschaltfunktion der Temperaturhochhaltung	Einschätzung des Optimierungspotenzials mit Hilfe der vorhandenen Komponenten.
Art des Wärmeabgabesystems	Unterscheidung zwischen Fussbodenheizung und Radiatoren. Gibt Anhaltspunkte zur Optimierung der Heizkurven.

Tabelle 4: Übersicht optionale Anlagenparameter und Gebäudedaten.

3.3 Veränderbare Anlagenparameter

In diesem Kapitel werden die für die Berechnung verwendeten Werte der veränderbaren Anlagenparameter für die unterschiedlichen Soll-Szenarien wie sie in Kapitel 3.2.2 beschrieben sind aufgezeigt.

3.3.1 Sollwert für den optimalen Betrieb = Sollwert 1

Der Sollwert 1 entspricht einer Optimierung der aktuellen Anlagenparameter für einen energieeffizienten Betrieb. Die Werte wurden auf Basis von Erfahrungen des Projektteams mit Betriebsoptimierungen festgelegt.

Für die stetige Warmwasser-Temperatur wurde unterschieden, ob mit den aktuellen Einstellungen die SIA 385/1:2011 eingehalten wird oder nicht. Wird sie eingehalten, erfolgt die Absenkung nur soweit, dass die Norm immer noch eingehalten wird. Wird sie bereits im Ausgangszustand nicht eingehalten, wird die Temperatur auf energetisch und aus Nutzersicht sinnvolle 50° gesenkt.

Nach derselben Logik wurde auf die aktuellen Einstellungen betreffend Legionellenschaltung reagiert: lag die Temperatur der Legionellenschaltung unter 60°, wurde die Schaltung rechnerisch ganz eliminiert, weil unter 60° nicht mehr von einer Desinfektion ausgegangen werden kann.



Stetige Warmwasser-Temperatur		
Wenn Temperatur $\geq 55^{\circ}\text{C}$, dann Absenken auf 55°C (Einhaltung SIA 385/1:2011)		
Wenn Temperatur $< 55^{\circ}\text{C}$, dann Absenken auf 50°C		
Legionellenschaltung		
Wenn Temperatur $> 60^{\circ}\text{C}$, dann Absenken auf 60°C		
Wenn Temperatur $< 60^{\circ}\text{C}$, dann Inaktivieren der Legionellenschaltung		
Freigabe (wenn technisch möglich) beschränken auf max. 1 mal pro Tag.		
Warmhaltetemperatur		
Warmhalteband		45 °C
Zirkulationsleitung im Rücklauf		40 °C
Betriebszeit entsprechend den Einstellungen vor Ort (wird nicht verändert)		
Heizkurven		
	Aussentemp. / Vorlauf	Steigung
Ausgangspunkt Steigung	20°C / 20°C	
Fussbodenheizung Neubau/Gesamterneuerung	-8°C / 35°C	0.55
Fussbodenheizung Teilerneuerung	-8°C / 38°C	0.65
Fussbodenheizung Unsaniert	-8°C / 41°C	0.75
Radiatoren Neubau/Gesamterneuerung	-8°C / 45°C	0.9
Radiatoren Teilerneuerung	-8°C / 50°C	1.1
Radiatoren Unsaniert	-8°C / 55°C	1.25
Heizgrenze (24 h Mittelwert)		
Neubau/Gesamterneuerung		14 °C
Teilerneuerung		15 °C
Unsaniert		16 °C

Tabelle 5: Parameterliste Sollwert 1

3.3.2 Sollwert zur Einhaltung von SIA 385/1:2011 mit konstant 55° = Sollwert 2

Der Sollwert 2 entspricht der Vorgabe einer konstanten Warmwasser Temperatur von 55°C am Ausgang des Wärmeerzeugers gemäss SIA 385/1:2011. Die Parameter der Raumwärme entsprechen dem IST-Zustand.

Stetige Warmwasser Temperatur		
Temperatur anpassen auf 55°C (Erzeugung zu 100 % mit Wärmepumpe)		
Legionellenschaltung		
Nicht vorhanden, weil von SIA 385/1:2011 bei ständig 55° nicht gefordert		
Warmhaltetemperatur		
Warmhalteband		55 °C
Zirkulationsleitung im Rücklauf		50 °C
Betriebszeit entsprechend den Einstellungen vor Ort (wird nicht verändert)		

Tabelle 6: Parameterübersicht Sollwert 2



3.3.3 Sollwert zur Einhaltung von SIA 385/1:2011 mit täglicher Legionellenschaltung = Sollwert 3

Der Sollwert 3 entspricht der Vorgabe einer konstanten Warmwasser Temperatur unter 55°C am Ausgang des Wärmeerzeugers und einer täglichen Legionellenschaltung gemäss SIA 385/1:2011. Die Berechnung wird für zwei Varianten durchgeführt (3a und 3b), bei welchen unterschieden wird, ob das Wasser mit der Wärmepumpe oder dem Elektroheizeinsatz auf die Solltemperatur gebracht wird. Die Parameter der Raumwärme entsprechen dem IST-Zustand.

Stetige Warmwasser Temperatur	
Temperatur anpassen auf 50 °C (Erzeugung zu 100 % mit Wärmepumpe)	
Legionellenschaltung	
3a: Tägliche Erwärmung des gesamten Warmwasserspeichers auf 60°C mit Wärmepumpe.	
3b: Tägliche Erwärmung des gesamten Warmwasserspeichers auf 60°C mit Elektroheizeinsatz.	
Warmhaltetemperatur	
Warmhalteband	50 °C
Zirkulationsleitung im Rücklauf	45 °C
Betriebszeit entsprechend den Einstellungen vor Ort (wird nicht verändert)	

Tabelle 7: Parameterübersicht Sollwert 3

3.3.4 Sollwert zur Einhaltung von SIA 385/1:2016-Entwurf = Sollwert 4

Der Sollwert 4 entspricht der Vorgabe einer konstanten Warmwasser Temperatur von 60°C am Ausgang des Wärmeerzeugers gemäss SIA 385/1:2016-Entwurf. Die Berechnung wird für zwei Varianten durchgeführt (4a und 4b), bei welchen unterschieden wird, ob das Wasser mit der Wärmepumpe oder dem Elektroheizeinsatz auf die Solltemperatur gebracht wird. Die Parameter der Raumwärme entsprechen dem IST-Zustand.

Stetige Warmwasser Temperatur	
4a: Temperatur anpassen auf 60°C (Erzeugung zu 100 % mit Wärmepumpe)	
4b: Temperatur anpassen auf 60°C (Erzeugung bis 50°C mit Wärmepumpe, bis 60°C mit Elektroheizeinsatz)	
Legionellenschaltung	
Nicht vorhanden	
Warmhaltetemperatur	
Warmhalteband	60 °C
Zirkulationsleitung im Rücklauf	55 °C
Betriebszeit entsprechend den Einstellungen vor Ort (wird nicht verändert)	

Tabelle 8: Parameterübersicht Sollwert 4

Bezüglich der Erzeugung von 60° allein mit der Wärmepumpe muss jedoch angemerkt werden, dass dazu erst ganz wenige Anlagen in der Lage sind. Gemäss einer Umfrage des Verbands GebäudeKlima Schweiz (GKS) im 2. Quartal 2018 unter sieben Herstellern



von Wärmepumpen beträgt heute der Marktanteil in der Schweiz von Wärmepumpen für Mehrfamilienhäuser, die in der Lage sind dauerhaft Warmwasser mit 60°C bereit zu stellen, schätzungsweise 5%. Zudem ist gemäss den Herstellern nicht zu erwarten, dass dieser Anteil in naher Zukunft stark ansteigen wird. Grund dafür sind unter anderem die zur Verfügung stehenden Kältemittel, die stetig strengere Anforderungen (Reduktion des Treibhauspotenzials) erfüllen müssen sowie die steigenden Kosten, welche diese technischen Anpassungen generieren würden. Zudem wird in der Branche eine Zunahme des Anteils an Luft-Wasser-Wärmepumpen erwartet. Bei diesen Anlagen ist die maximale Vorlauftemperatur bei tiefen Aussentemperaturen erst recht begrenzt. Abschliessend wird vom Verband erwähnt, dass der dauerhafte Betrieb einer Wärmepumpe im maximalen Leistungsbereich auch zu einer Verkürzung der Lebenszeit führt.

3.4 Zusätzliche Analysen zur Legionellenkonzentration

Im Rahmen einer Messkampagne wurden acht Objekte, welche die aktuellen Anforderungen an den Legionellenschutz nach SIA 385/1:2011 nicht einhalten (Warmwassertemperatur <55°C, keine periodische Erhitzung auf 60°C) betreffend deren Legionellenkonzentration untersucht.

Die Beprobungen und Laboranalysen erfolgten durch das Kantonale Labor und wurden gemäss dem Legionellenmodul 18, Risikobeurteilung, Probeentnahme, Interpretation der Resultate des Bundesamtes für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen durchgeführt. Es wurde jeweils an einer vom Wärmeerzeuger entlegenen Zapfstellen (Dusche oder Wasserhahn) sowie von einer Zapfstelle nahe am Wärmeerzeuger Proben entnommen. Es erfolgte eine Doppel-Beprobung gemäss den Vorgaben Legionellenmodul 18. Dazu wurde der erste Liter Warmwasser direkt nach dem Öffnen der Armatur auf der Stellung «ganz heiss» ohne vorspülen direkt abgefüllt. Die zweite Probeentnahme erfolgte an derselben Zapfstelle nach zwei Minuten Vorspülung.

Wenn überhöhte Legionellenkonzentrationen in Proben ohne Vorspülen vorkommen, weist das auf eine Legionellenkontamination in den letzten Metern des Warmwassersystems hin. Ursache könnte ein mit Legionellen bewachsener Duschschauch sein. Überhöhte Legionellenkonzentrationen in Proben nach dem Vorspülen sind ein Hinweis auf Legionellen im Inneren des Warmwassersystems wie zum Beispiel im Wassererwärmer.

Generell werden Legionellenkontaminationen aus dem inneren Teil des Warmwassersystems als gravierender eingestuft als Kontaminationen des äusseren Teils. Wenn der Wassererwärmer mit Legionellen kontaminiert ist, so ist das Warmwasser während der gesamten Duschzeit mit Legionellen belastet, wohingegen bei kontaminierten Duschschräuchen angenommen wird, dass nur in den ersten Sekunden des Duschens das Duschwasser erheblich mit Legionellen belastet ist



Die Proben wurden anschliessend in einem wärmeisolierten Behälter innerhalb von 4 h ins Labor gebracht und direkt angesetzt. Die Kultivierung erfolgte anhand des Standardverfahrens, wie es in der EN ISO 11731 beschrieben ist.

Die Beurteilung erfolgte nach dem vom Eidgenössischen Departement des Innern herausgegebenen «Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen» (TBDV). Diese richtet sich nur nach der gemessenen Konzentration an Legionella species. Es gelten die folgenden Klassen.

Klasse	Konzentration in KBE/L = Kolonie Bildende Einheit pro Liter Probevolumen
Zielwert	< 1'000 KBE/L
Kontamination	1'000 – 10'000 KBE/L
Hochgradige Kontamination	> 10'000 KBE/L

Tabelle 9: Klassifizierung der Legionellen-Kontamination



4 Ergebnisse der Energie- und Betriebsanalysen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Energie- und Betriebsanalysen dargestellt und ab Kapitel 4.4 werden die Forschungsfragen 1 bis 3 beantwortet, die sich auf den Energieverbrauch, die Betriebseinstellungen und die Hindernisse für optimal betriebene Anlagen beziehen. Ein Überblick zu den Forschungsfragen und den zur Beantwortung gewählten Methoden findet sich in Tabelle 2 im Kapitel 1.3.1.

4.1 Beschreibung der einbezogenen Objekte

Von den 81 untersuchten Objekten befinden sich 42 in der Stadt Zürich, 39 in der Nordwestschweiz. Die Nordwestschweizer Objekte verteilen sich auf die Kantone Basel-Stadt, Basel-Landschaft und Solothurn.

	Zürich	Nordwestschweiz	Gesamt
Anzahl Objekte	42	39	81
Median der Energiebezugsfläche in m ²	1'435	722	950
Anteil Neubau oder Gesamterneuerung	69%	67%	68%
Anteil Teilerneuerung	24%	13%	19%
Anteil unsaniert	7%	21%	14%
Wärmeerzeugung			
Anteil Erdsonden-WP	98%	79%	89%
Anteil Grundwasser-WP	2%	3%	2%
Anteil Luft-Wasser-WP	0%	18%	9%
Legionellenschaltung			
Anteil ohne Legionellenschaltung	76%	49%	63%
Anteil Schaltung mit Wärmepumpe	0%	3%	1%
Anteil Schaltung mit Elektroheizeinsatz	24%	49%	36%
Temperaturhochhaltung			
Anteil ohne Hochhaltung	10%	18%	14%
Anteil Zirkulation	69%	59%	64%
Anteil Warmhalteband	21%	23%	22%

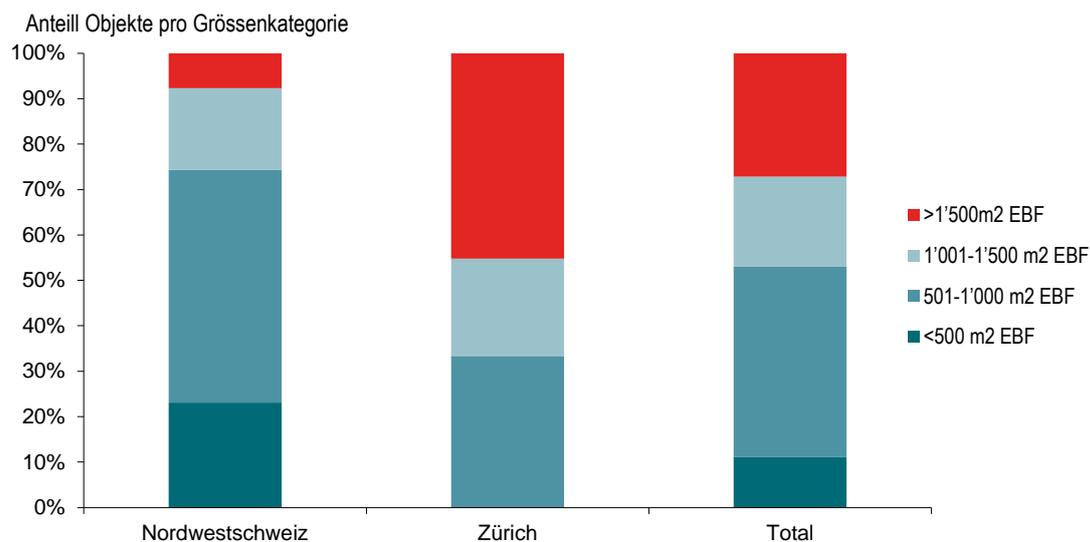
Tabelle 10: Beschreibung des Samples der einbezogenen Objekte; Quelle: Erhebung bei den Begehungen 2017

Im Objektsample aus der Nordwestschweiz gibt es deutlich mehr kleinere Mehrfamilienhäuser und mehr unsanierte Gebäude als im Zürcher Sample (vgl. Tabelle 10 und Figur 11). Der Grössenunterschied hat u. a. damit zu tun, dass in Zürich bewusst auf grosse Objekte ab 40 kW installierter Heizleistung fokussiert wurde. Bei diesen grossen Objekten verlangt der ewz Stromsparfonds, der die meisten dieser Wärmepumpenanlagen fi-



nanziell unterstützte, einen Wärmezähler. Obwohl in einigen Fällen die vorhandenen Wärmezähler nicht periodisch abgelesen wurden, war die Datengrundlage insgesamt besser.

Anteil Objekte nach Grössenkategorie



econcept

Figur 11: Objektgrössen pro Untersuchungsregion nach Grössenkategorie; Quelle: Erhebung bei den Begehungen 2017

Eigentümerstruktur

Die Hälfte der untersuchten Objekte gehört einer Privatperson oder einem Privathaushalt. Je rund ein Fünftel gehört Stockwerkeigentümergeinschaften oder Genossenschaften.

Wem gehört die Liegenschaft aktuell?	Anteile
Privatperson oder Privathaushalt, die/der selbst darin wohnt oder arbeitet	38%
Privatperson oder Privathaushalt, die/der nicht selbst darin wohnt oder arbeitet	12%
Stockwerkeigentümergeinschaft	19%
Erbengemeinschaft oder Miteigentümergeinschaft	1%
Genossenschaft, Stiftung, Verein	19%
Kapitalgesellschaft, Immobiliengesellschaft, Immobilienfonds	5%
Pensionskasse, Anlagestiftung, Versicherung	6%
Öffentlich-rechtliche Eigentümerschaft	0%
Industrie-, Gewerbe- oder Dienstleistungsbetrieb	0%
Anderes	0%

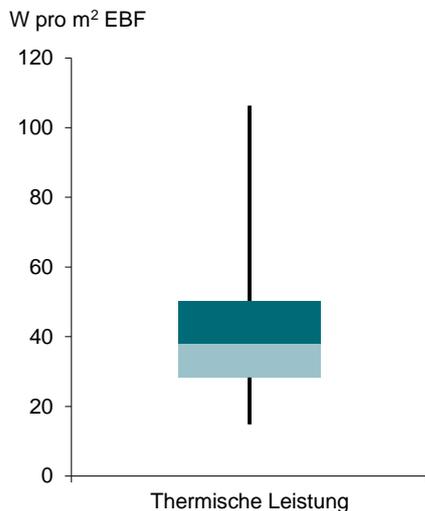
Tabelle 11: Eigentümerstruktur der untersuchten Objekte; Quelle: Erhebung bei den Begehungen 2017



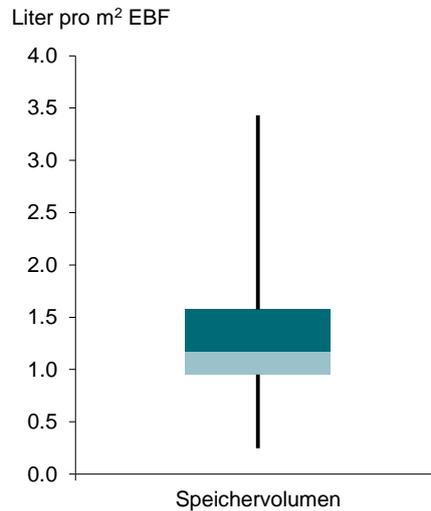
4.2 Deskriptive Analyse der Anlagedaten

Die nachfolgenden Auswertungen untersuchen die einbezogenen Objekte hinsichtlich ausgewählter Parameter.

Thermische Leistung pro m² EBF



Warmwasserspeicher-Volumen



econcept

Figur 12: Auswertung zur thermischen Leistung pro m² EBF (n=81) und zum Warmwasserspeicher-Volumen pro m² EBF (n=76). Die Boxen erstrecken sich vom 25. bis zum 75. Perzentil. Der Farbwechsel im Inneren der Box markiert den Median. Die Linien ausserhalb der Boxen zeigen an, in welchem Wertebereich weitere Datenpunkte vorhanden sind; Quelle: Erhebung bei den Begehungen 2017

Der Median der thermischen Leistung pro Quadratmeter Energiebezugsfläche beträgt 38 W/m² EBF. Im Median stehen 1.1 Liter Volumen im Warmwasserspeicher pro Quadratmeter Energiebezugsfläche zur Verfügung.

Legionellenschaltung

Bei 51 Objekten wird keine thermische Desinfektion, das heisst eine periodische Erhitzung des Warmwasserspeichers auf 60° Celsius, zur Legionellenvorbeugung durchgeführt. Bei den 30 Objekten, die eine periodische thermische Desinfektion durchführen, geschieht dies in 43% der Fälle täglich, in 57% der Fälle einmal pro Woche. Die Temperatur der Legionellenschaltung liegt im Median der 30 Objekte bei 60°C, im Durchschnitt bei 61.8°C. Die tiefste beobachtete Temperatur liegt bei 50°C, die höchste bei 72°C,

Warmwassertemperatur im Speicher

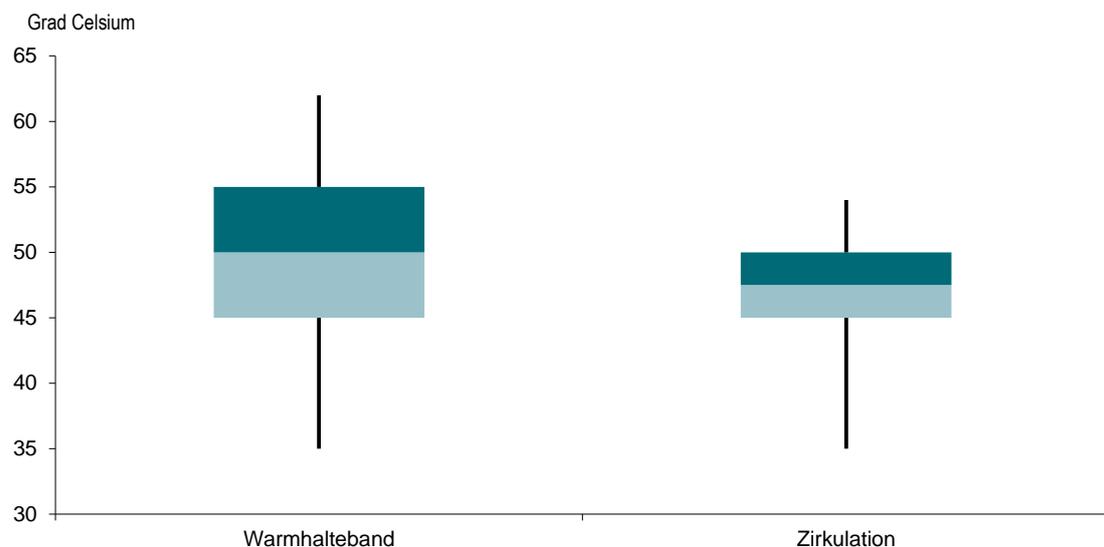
In 85% der Objekte wird das Brauchwarmwasser mit der Wärmepumpe erhitzt. In diesen Objekten wurde im Median eine Warmwasserspeichertemperatur von 52°C beobachtet mit einem Minimum bei 48°C und einem Maximum bei 60°C. Die Speichertemperaturen liegen bei den Objekten ohne Legionellenschaltung im Median 1 Grad über dem Median der Objekte mit Legionellenschaltung.



Wassertemperatur im Verteilnetz

In 86% der Objekte wird die Warmwassertemperatur im Verteilnetz aktiv hochgehalten. Bei den 52 Objekten mit Warmwasserzirkulation beträgt die Temperatur im Rücklauf im Median 47°C. Bei den 18 Objekten mit Warmhalteband beträgt die eingestellte Temperatur im Median 50°C.

Hochhaltetemperatur in den Leitungen



econcept

Figur 13: Hochhaltetemperatur in den Leitungen differenziert nach Hochhalte-Technologie (Warmhalteband n=18, Zirkulation n=52); Quelle: Erhebung bei den Begehungen 2017

Bei den Objekten mit Warmhalteband ist bei 22% eine Zeitschaltfunktion für das Warmhalteband vorhanden. Bei den Objekten mit Zirkulation gibt es bei 48% eine Zeitschaltfunktion. Bei mehreren Objekten konnte jedoch nicht abschliessend geklärt werden, ob eine Zeitschaltfunktion vorhanden ist.

Heizgrenzen und Auslegung Vorlauftemperatur

Es wurde untersucht, wie die Heizungen bezüglich Heizgrenze und Auslegepunkt bei -8° Aussentemperatur eingestellt sind. Die nachfolgende Tabelle zeigt die eingestellten Heizgrenzen.

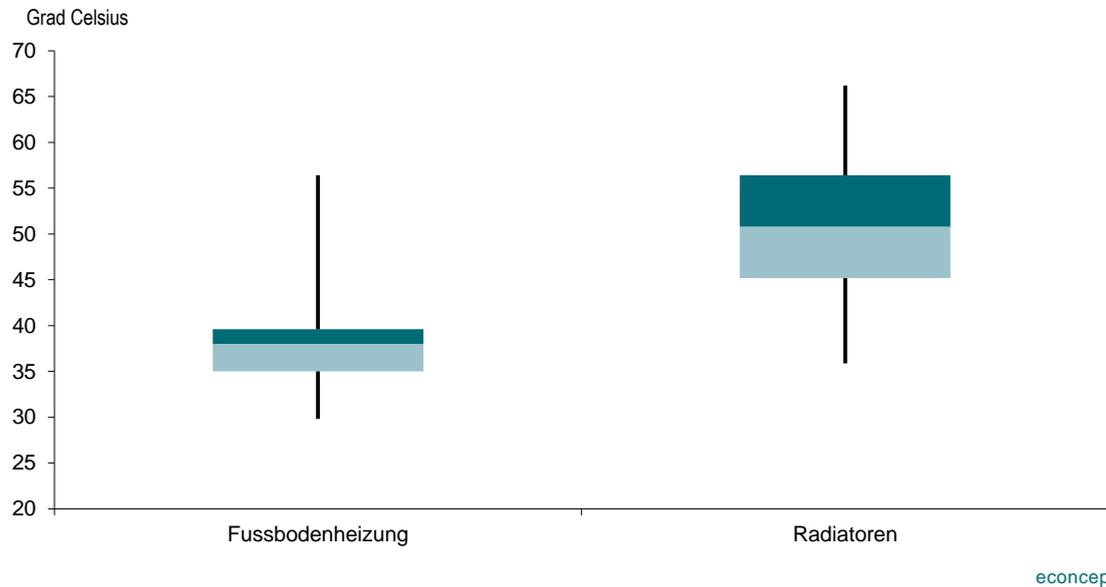
Heizgrenzen in °C	Minimum	Median	Maximum	Anzahl Objekte
Bei Neubau und Gesamterneuerung	13	18	20	55
Bei Teilerneuerung	16	18	35	15
Bei unsaniert	15	18	20	11

Tabelle 12: Eingestellte Heizgrenzen nach Gebäudequalität. Beim Ausreisser mit 35° als Heizgrenze handelt es sich um ein teilerneueres Gebäude mit Radiatoren (n=81); Quelle: Erhebung bei den Begehungen 2017



Anlagen mit Fussbodenheizung wurden im Median mit einer Vorlauftemperatur von 38°C bei -8° Aussentemperatur eingestellt. Der Median bei den Radiatorheizungen liegt bei 51°C Vorlauftemperatur bei einer Aussentemperatur von -8°.

Auslegungspunkt der Anlagen bei -8°C



econcept

Figur 14: Auslegungspunkt der Vorlauftemperatur bei -8°C Aussentemperatur nach Art der Wärmeabgabe; Fussbodenheizung n=61, Radiatoren n=16; Quelle: Erhebung bei den Begehungen 2017

Thermosiphon

Von den 69 Objekten, in welchen das Warmwasser mit der Wärmepumpe zentral erzeugt wird, ist bei 60 ein Thermosiphon vorhanden (bei 87%). Sechs verfügen über kein Thermosiphon und bei drei fehlt die Information dazu.

Gewähltes hydraulisches Schema

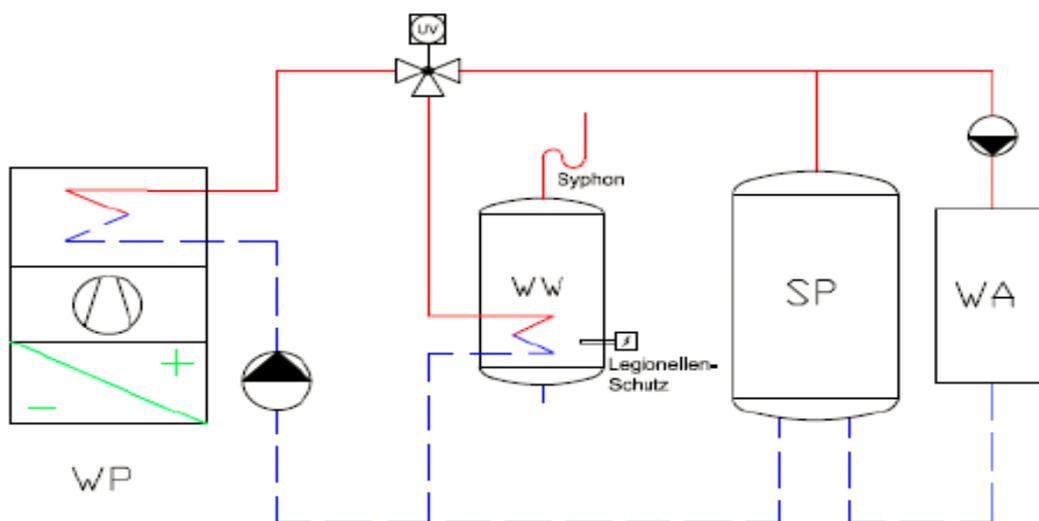
Die nachfolgende Tabelle illustriert, welche Schemata auf den Anlagen vorgefunden wurden.



Schema Bezeichnung	Anzahl Objekte
Schema 1 (- Speicher, - Wassererwärmung)	0
Schema 2 (- Speicher, + Wassererwärmung)	2
Schema 2a (-Speicher, + Wassererwärmung)	4
Schema 2b (- Speicher, + Wassererwärmung)	12
Schema 3 (+ Seriespeicher, - Wassererwärmung)	4
Schema 4 (+ Seriespeicher, + Wassererwärmung)	3
Schema 5 (Parallelspeicher, - Wassererwärmung)	3
Schema 5a (Parallelspeicher, - Warmwasserbereitung, + mehreren Heizgruppen)	0
Schema 6 (Parallelspeicher, + Warmwasserbereitung)	49
Schema 7.1 (Solar Warmwasserbereitung, 1 WT f. Solar)	0
Schema 7.2 (Solar Warmwasserbereitung, + Seriespeicher f. Vergrößerung Wasserinhalts)	0
Schema 7.3 (Solar WW-bereitung, Parallelspe. f. Systemtrennung zw. Wärmeerzeugung / Verbraucher)	4

Tabelle 13: Gewählte hydraulische Schemata; Quelle: Erhebung bei den Begehungen 2017

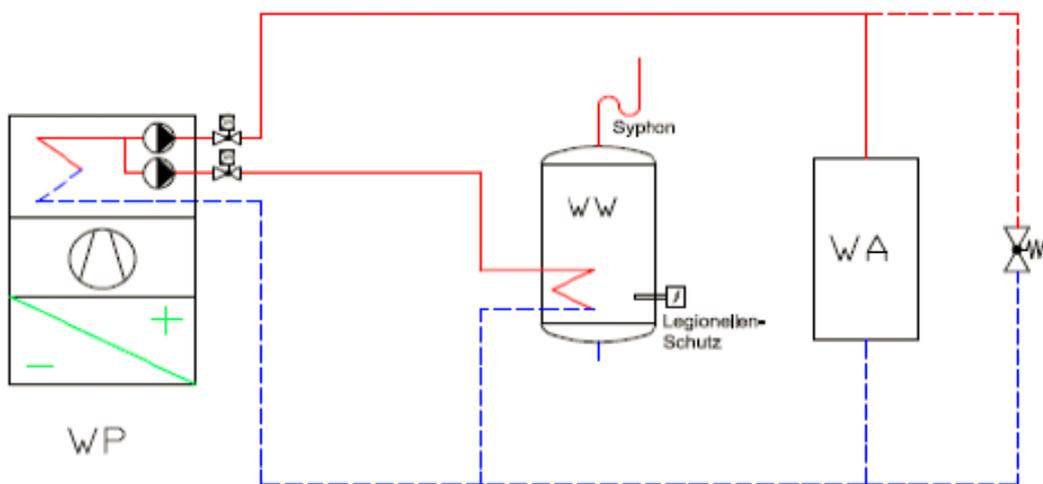
60% der Anlagen werden mit dem Schema 6 mit Parallelspeicher und Warmwasserspeicher betrieben. Die nachfolgende Figur illustriert dieses Schema. (WP = Wärmepumpe, WW = Warmwasserspeicher, SP = Pufferspeicher Heizungswasser, WA = Wärmeabgabesystem z.B. Fussbodenheizung)



econcept

Figur 15: Illustration hydraulisches Schema 6 mit Parallelspeicher und Warmwasserbereitung. Bildquelle: Huber et al. 2017

In 15% der Fälle wurde Schema 2b mit Speicher und Wassererwärmung gewählt.



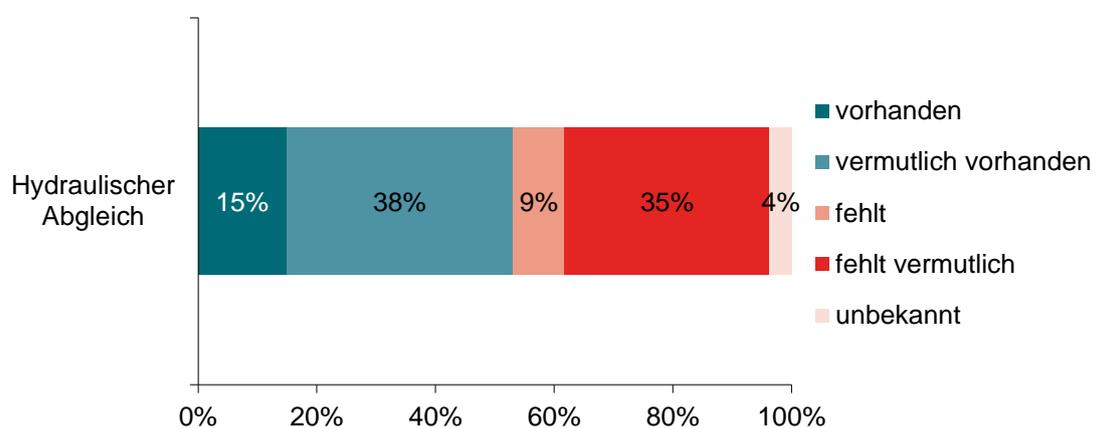
econcept

Figur 16: Illustration hydraulisches Schema 2b mit Speicher und Warmwassererwärmung.
Bildquelle: Huber et al. 2017

Hydraulischer Abgleich

Bei der Begehung wurde die anwesende Person gefragt, ob bei der Inbetriebnahme ein hydraulischer Abgleich über das ganze System durchgeführt worden ist. Bei 15% der Anlagen wurde dies bestätigt. Bei 9% wurde es mit Nachdruck verneint. Bei knapp 40% wurde von den Experten vor Ort vermutet, dass ein Abgleich stattgefunden hat, bei 35% ging man davon aus, dass kein Abgleich stattgefunden hat. Die Aussagen dazu sind jedoch mit grosser Unsicherheit behaftet.

Hydraulischer Abgleich



econcept

Figur 17: Information und Einschätzung zum hydraulischen Abgleich der Anlage

Wärmemengenzähler

In der untenstehenden Tabelle werden die bei den Begehungen angetroffenen Messstellen, die periodisch abgelesen werden (Energie und Wassermengen), dargestellt. Die Bezeichnungen in der ersten Spalte beziehen sich auf Figur 9 auf Seite 51.



Wärmemengenzähler für:	Heizwärme		Warmwasser	
	Einheit	[kWh]	[kWh]	[m ³]
Thermische Energie ab WP		13 Stk.		
Thermische Energie vor Speicher		7 Stk.	5 Stk.	
Thermische Energie nach Speicher		2 Stk.	2 Stk.	
Heizwärmeverbrauch in Wohnung		26 Stk.		
Nutzwärmeverbrauch Warmwasser in Wohnung			5 Stk.	27 Stk.

Tabelle 14: Übersicht vorgefundene Wärmemengenzähler in 81 Objekten

Neben den thermischen Zählern wurden zudem 76 Elektrozähler zur Messung der Betriebsenergie der Wärmepumpe angetroffen. Der Betriebsstrom des Elektroheizeinsatzes und des Warmhaltebandes wird in der Regel vom Allgemeinstromzähler erfasst und liegt somit ausserhalb der von der Messung erfassten Systemgrenzen.

Im Bereich der Raumwärme wird am häufigsten der Heizwärmeverbrauch erfasst. Ursache dafür dürfte die Pflicht zur Verbrauchsabhängigen Heizkostenabrechnung (VHKA) sein, wie sie in den kantonalen Energiegesetzen für Neubauten mit mindestens fünf Wärmebezügern vorgeschrieben ist. Die thermische Energie ab Wärmepumpe, welche sich am besten zur Beurteilung der Effizienz der Wärmepumpen verwenden lässt, wird nur in 13 Fällen gemessen. Im Falle des Warmwassers wird am häufigsten der Warmwasserverbrauch in m³ erfasst.

Insgesamt ist erkennbar, dass nur bei wenigen Objekten die Voraussetzungen zur Bestimmung der Wärmepumpen-Effizienz vorhanden sind. Zudem sind bei einem allfälligen Anlagenvergleich die auf Grund der Position des Messpunktes gegebenen Systemgrenzen zu beachten.

4.3 Erkenntnisse aus der Befragung vor Ort

Planung und Inbetriebnahme

Dreiviertel der Anlagen wurden von einem/r Fachplaner/in geplant, bei einem Viertel hatte die Installationsfirma die Planung übernommen. Während bei den Neubauten und Gesamterneuerungen nur in knapp 10% der Fälle die Installateure/innen planten, waren es bei den Teilerneuerungen über die Hälfte der Anlagen. Bei den unsanierten Gebäuden, die einen reinen Heizungsersatz durchführten, übernahm in 64% der Fälle die Installationsfirma die Planung. Allerdings ist diese Zahl nicht belastbar, weil nur 11 unsanierte Gebäude berücksichtigt wurden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt, dass in rund 50% der Fälle die Einstellungen bei der Inbetriebnahme dokumentiert sind.



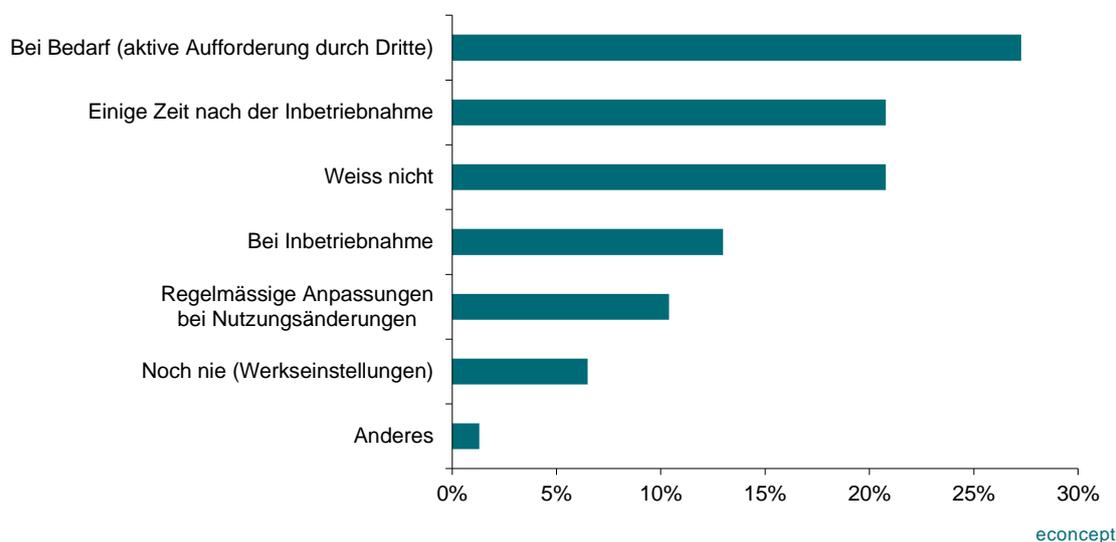
	Ja	Nein	Weiss nicht
Lagen für die Inbetriebnahme Einstellungsvorgaben der Planer vor?	62%	15%	23%
Wurden die Einstellungen bei der Inbetriebnahme zuhanden der Heizungsverantwortlichen vor Ort dokumentiert?	49%	34%	18%

Tabelle 15: Einstellungsvorgaben durch Planer und Dokumentation der Inbetriebnahme (n=79); Quelle: Befragung bei den Begehungen 2017

Anpassungen an den Anlagen

Bei einem Fünftel der Anlagen wurden die Einstellungen noch nie oder nur bei der Inbetriebnahme angepasst. Rund ein Fünftel der Befragten konnte dazu keine Auskunft geben.

Wann bzw. zu welchem Anlass wurden die Einstellungen das letzte Mal angepasst?



Figur 18: Zeitpunkt bzw. Anlass der letzten Einstellungsanpassungen an der Anlage (n=77). Quelle: Befragung bei den Begehungen 2017

Der Auslöser für die letzte Anpassung der Anlagen-Einstellungen war in 46% der Fälle eine Funktionsstörung der Anlage. Neun Anlagen wurden bewusst optimiert und bei acht Anlagen hatten die Bewohner reklamiert, weil es in mehreren Wohnungen zu kalt war. In 44% der Fälle wurden die umgesetzten Anpassungen an der Anlage schriftlich dokumentiert, bei 56% war das nicht der Fall oder es war nicht bekannt, ob es dokumentiert wurde (n=64).



Was war der Auslöser für die Anpassungen?	Anzahl
Bewohnerreklamation: in mehreren Wohnungen zu kalt	8
Bewohnerreklamation: in nur einer oder zwei Wohnungen zu kalt	0
Bewohnerreklamation: in mehreren Wohnungen zu warm	0
Bewohnerreklamation: in nur einer oder zwei Wohnungen zu warm	0
Bewohnerreklamation: zu wenig Warmwasser	2
Bewohnerreklamation: Warmwasserausstoss dauert zu lange	0
Bewusste Optimierung der Einstellungen	9
Funktionsstörung der Anlage	24
Anderes	0
Weiss nicht	9

Tabelle 16: Auslöser für die letzte Anpassung der Einstellungen an der Anlage (n=51). Quelle: Befragung bei den Begehungen 2017

Obwohl nur bei zwei Objekten Reklamationen bezüglich des Warmwassers Auslöser für Anpassungen waren, sind die befragten Personen vor Ort mehrheitlich der Meinung, dass die Bewohnerschaft empfindlich auf lange Warmwasserausstosszeiten reagiert. Hier stellt sich die Frage, ob man sich eher vor Reklamationen fürchtet als dass diese tatsächlich vorkommen würden. Bei knapp 30% der Anlagen seien bisher Warmwasser-Engpässe vorgekommen.

Thema Warmwasser	Trifft zu	Trifft nicht zu	Weiss nicht
Bewohnerschaft reagiert empfindlich auf Komforteinbussen bezüglich Warmwasser-Ausstoss (wenn Warmwasserausstoss lange dauert)	73%	26%	2%
Es sind schon Warmwasser-Engpässe vorgekommen.	29%	62%	9%

Tabelle 17: Warmwasser-Anforderungen und Engpässe (n=66¹⁴); Quelle: Befragung bei den Begehungen 2017

Die Personen vor Ort wurden gefragt, ob ein gewisser Sollwert für die Raumtemperatur in den Wohnungen definiert wurde. 48% bejahen dies, bei 36% ist das nicht der Fall. 15% konnte dazu keine Angaben machen. Dort wo ein Sollwert definiert wurde, liegt er im Median bei 21°C, im Minimum bei 20°, im Maximum bei 23°C.

Verantwortlichkeiten und Service-Verträge

Für zwei Dritteln der Anlagen besteht ein Service-Vertrag. Nur bei fünf Anlagen bzw. bei 10% der Anlagen mit Service-Vertrag beinhaltet dieser nach Auskunft der Personen vor Ort auch eine regelmässige Systemüberprüfung im Hinblick auf einen energieoptimierten

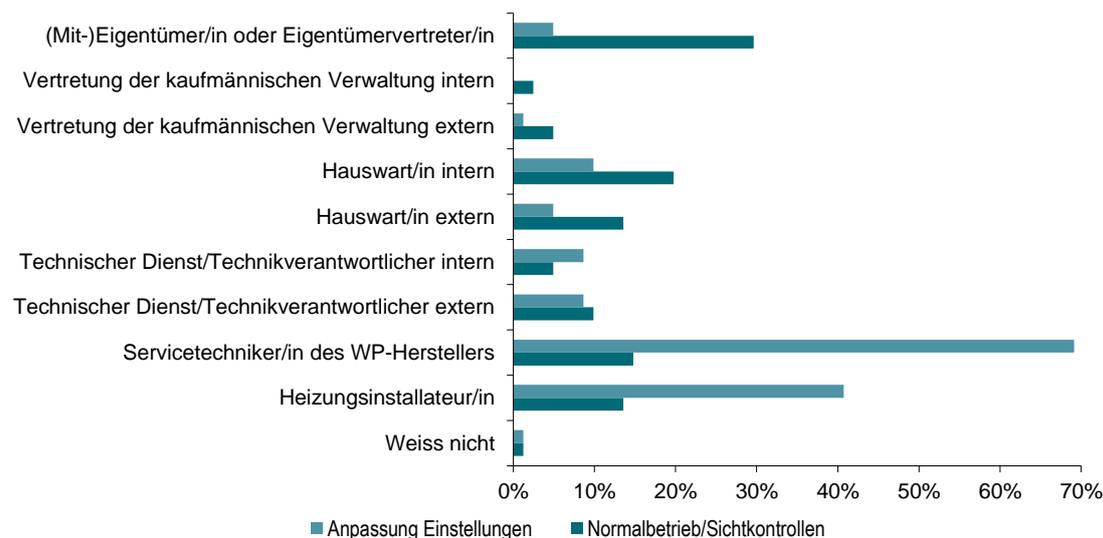
¹⁴ Diese Fragen wurden nicht mündlich gestellt sondern über einen handschriftlich auszufüllenden Fragebogen. Der Fragebogen wurde von 66 Personen ausgefüllt, was einem Rücklauf von 81% entspricht.



Betrieb. Bei rund 40% der Anlagen halte der Service-Vertrag fest, dass nur das Service-Personal Einstellungen an der Anlage ändern dürfe.

Die nachfolgende Figur zeigt, wer im Normalbetrieb für die Sichtkontrolle der Anlage verantwortlich ist (dunkelblau) und wer für Anpassungen der Einstellungen (hellblau).

Zuständigkeiten



econcept

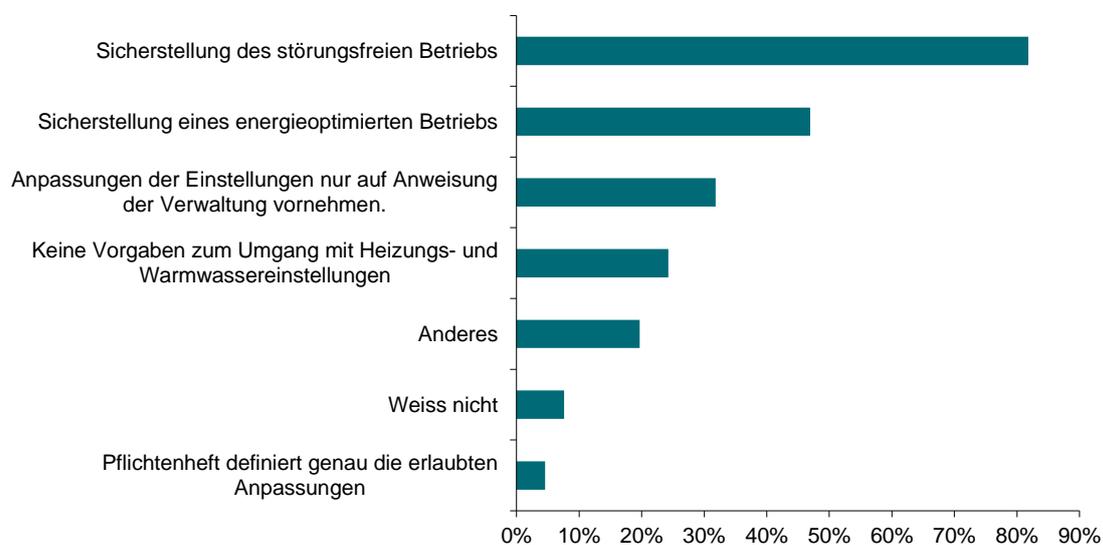
Figur 19: Zuständigkeiten für die Wärmepumpen-Anlage bezüglich der tatsächlichen Anpassung von Einstellungen und bezüglich Sichtkontrollen und dem Erkennen von Störungen. Mehrfachnennungen möglich (n=81). Quelle: Befragung bei den Begehungen 2017

Es zeigt sich, dass in rund 70% der Fälle hauptsächlich die Servicetechniker/innen des Wärmepumpen-Herstellers Anpassungen vornehmen, gefolgt von den Heizungsinstallateuren/innen.

Obwohl nur in vereinzelten Fällen die Systemoptimierung im Service-Vertrag enthalten ist, sind rund die Hälfte der Befragten der Meinung, die Sicherstellung eines energieoptimierten Betriebs gehöre zum Pflichtenheft der Personen, die für die Einstellungen der Wärmepumpe verantwortlich sind. Die Inkonsistenz der Antworten lässt vermuten, dass Unklarheit herrscht, wofür die Servicetechniker oder die mit der Einstellung der Anlage betrauten Heizungsinstallateure/innen konkret verantwortlich sind.



Auftrag gemäss Pflichtenheft der Personen, die für die Einstellungen der Wärmepumpen-Anlage verantwortlich sind



econcept

Figur 20: Anteil der Objekte, in denen die genannten Aspekte im Pflichtenheft verankert sind: Antworten auf die Frage: «Wie lautet der Auftrag der für die Anpassung der Einstellungen der Wärmepumpe zuständigen Person/en gemäss Pflichtenheft (implizites oder explizites Pflichtenheft)?» (n=66), Mehrfachantworten möglich; Quelle: Befragung bei den Begehungen 2017

Die Personen vor Ort wurden gefragt, was aus ihrer Sicht dazu beitragen würde, dass die Wärmepumpen-Anlage langfristig energieeffizient betrieben würde. Rund 40% sind der Meinung, dass man regelmässig eine Fachperson beiziehen können sollte. Von je rund einem Drittel würde begrüsst, wenn die zuständigen Personen besser informiert wären und die Bedienung der Anlage einfacher. Der letzte Punkt deckt sich mit einer Erkenntnis aus Hubacher et al. 2017. Dort wurde von den Anlagebesitzenden oft bemängelt, dass die Regler der Wärmeerzeugung nicht bedienerfreundliche ausgestaltet sind beispielsweise für Heizkurve, Heizgrenze und Nachtabsenkung. Zudem seien gewisse Informationen wie Betriebsstunden oder Schalzhäufigkeit nicht auffindbar, weil sie nur auf der Serviceebene der Steuerung dargestellt werden und diese mit Passwort Schutz versehen ist.

Rund ein Viertel der Befragten sind der Meinung, dass bereits eine Klärung der Verantwortlichkeiten den optimierten Betrieb unterstützen würde, ebenso wie finanzielle Förderung von Betriebsoptimierungen..



Was würde aus Ihrer Sicht dazu führen, dass diese Heizungs- und Warmwasseranlage langfristig immer energetisch optimal betrieben wird?	Anteil
Wenn regelmässig eine Fachperson beigezogen werden könnte.	38%
Wenn die zuständig(en) Person(en) besser über die Parameter eines optimalen Betriebs informiert würden.	32%
Eine einfachere Bedienung der Wärmepumpensteuerung.	32%
Wenn eindeutig geklärt wäre, wer für den optimalen Betrieb zuständig ist.	23%
Eine finanzielle Förderung der Betriebsoptimierung (durch die öffentliche Hand).	23%
Bewohner/innen, die kurzfristige Komforteinbussen in der Optimierungsphase (zur «Einregulierung») tolerieren.	20%
Aus- oder Weiterbildung der zuständig(en) Person(en)	20%
Ein ausdrücklicher Wunsch der Eigentümerschaft zur energetischen Optimierung im Betrieb.	18%
Zusätzliche Messgeräte, die eine Analyse des Betriebs erleichtern.	14%
Ein spezifischer Auftrag (inkl. Budget) der Eigentümerschaft zur energetischen Optimierung im Betrieb.	12%
Anderes	3%
Nichts, die Anlage wird aus meiner Sicht energetisch optimal betrieben.	0%

Tabelle 18: Aspekte, die zu einem energetisch optimalen Betrieb führen würden (n=66). Mehrfachantworten möglich; Quelle: Befragung bei den Begehungen 2017

4.4 Anteil der grösseren MFH mit ineffizienten Einstellungen

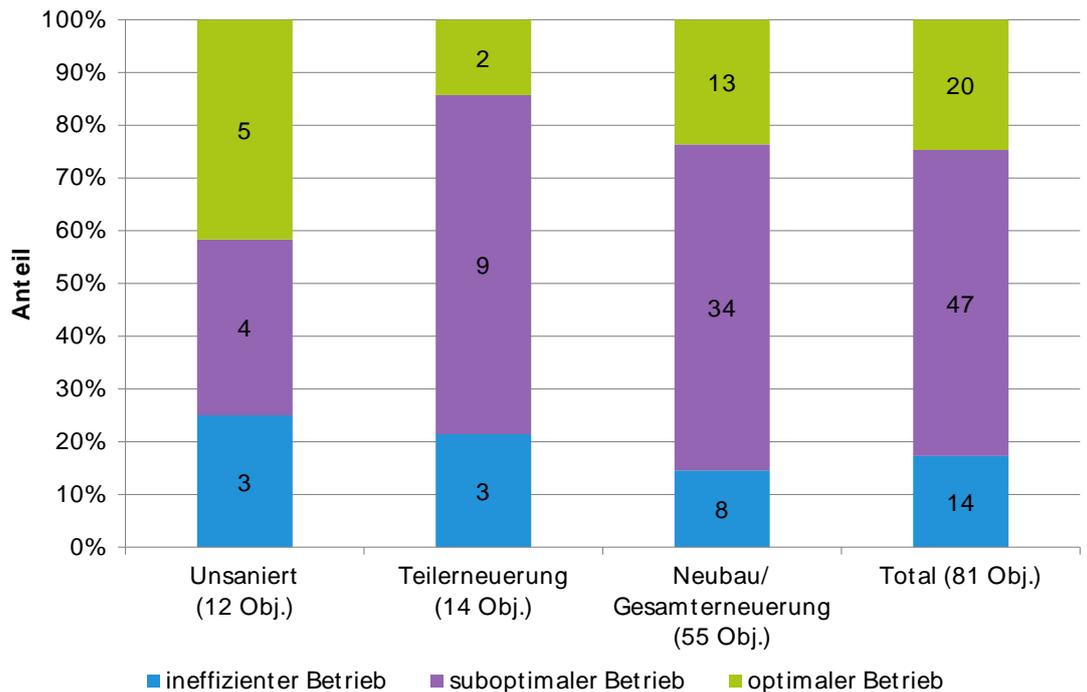
Forschungsfrage 1: Bei welchem Anteil der grösseren Mehrfamilienhäuser mit Wärmepumpe muss mit ineffizienten Einstellungen der Wärmepumpe und der Zusatzaggregate für Warmwasser gerechnet werden?

Die untersuchten Objekte wurden anhand der realisierbaren Reduktion des Endenergieverbrauchs in die in Tabelle 19 dargestellten Klassen eingeteilt. Die Auswertung wurde über alle untersuchten Objekte durchgeführt (81 Anlagen). Die realisierbare Endenergieeinsparung wurde ermittelt aus dem Vergleich der vorgefundenen Einstellungen mit den optimalen Anlageparametern für einen energieeffizienten Betrieb (Sollwert 1 gemäss Kapitel 3.3.1).

Effizienzklassen	Realisierbare Endenergieeinsparung
Ineffizienter Betrieb	> 20 %
Suboptimaler Betrieb	> 10% bis 20 %
Optimaler Betrieb	<= 10 %

Tabelle 19: Definition der Effizienzklassen

Die Auswertung erfolgte nach der Gebäudekategorie und der Unterscheidung, ob die Anlage durch den Stromsparfonds gefördert wurde oder nicht.

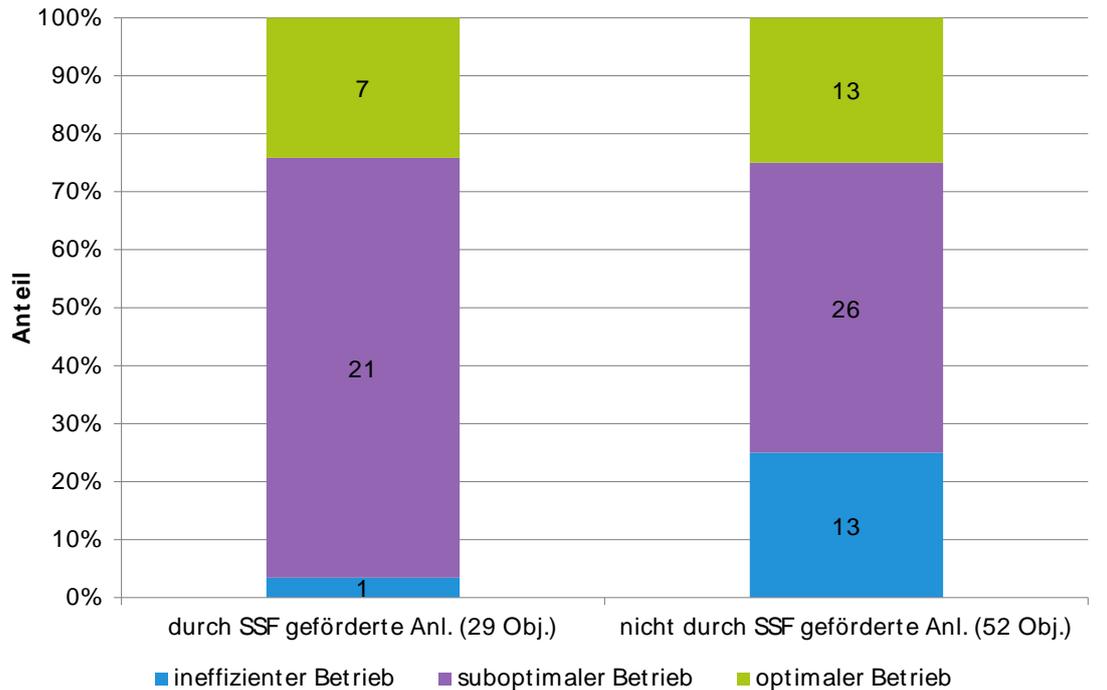


econcept

Figur 21: Übersicht der Effizienzklassen verteilt nach Gebäudekategorie.

Obige Figur zeigt den Anteil der drei Effizienzklassen aufgeteilt auf die verschiedenen Gebäudekategorien. Es ist ersichtlich, dass 25 % aller Anlagen über eine optimale Einstellung verfügen. Bei knapp 20 % der Anlagen ist die Betriebsweise ineffizient. Bei den unsanierten Objekten ist der Anteil an optimal betriebenen Anlagen auffällig hoch. Dies mag daran liegen, dass die oft angetroffenen Werkseinstellungen der Wärmepumpen im Falle von unsanierten Gebäuden besser auf die Realität zutreffen als bei den übrigen Anlagen. Zudem haben Optimierungsmassnahmen im Bereich Warmwasser bei unsanierten Gebäuden auf Grund des geringeren Energieanteils des Warmwassers am Gesamtenergieverbrauch einen reduzierten Einfluss.

Die häufigsten Fehleinstellungen die zu einer ineffizienten Betriebsweise der Wärmepumpen-Anlagen führen waren zu hoch eingestellte Heizkurven. Dabei handelte es sich meistens um Objekte, die unbesehen mit den Werkseinstellungen der Wärmepumpe betrieben wurden oder um sanierte Objekte, bei denen die Heizkurve nach der Dämmung der Gebäudehülle nicht abgesenkt worden war. Grund für sehr ineffiziente Anlagen waren zudem überhöhte Temperaturen der Legionellenschaltung (bis zu 70°C) und wenn beispielsweise die Solltemperatur des Warmhaltebands höher eingestellt war als die Warmwassertemperatur im Speicher.



econcept

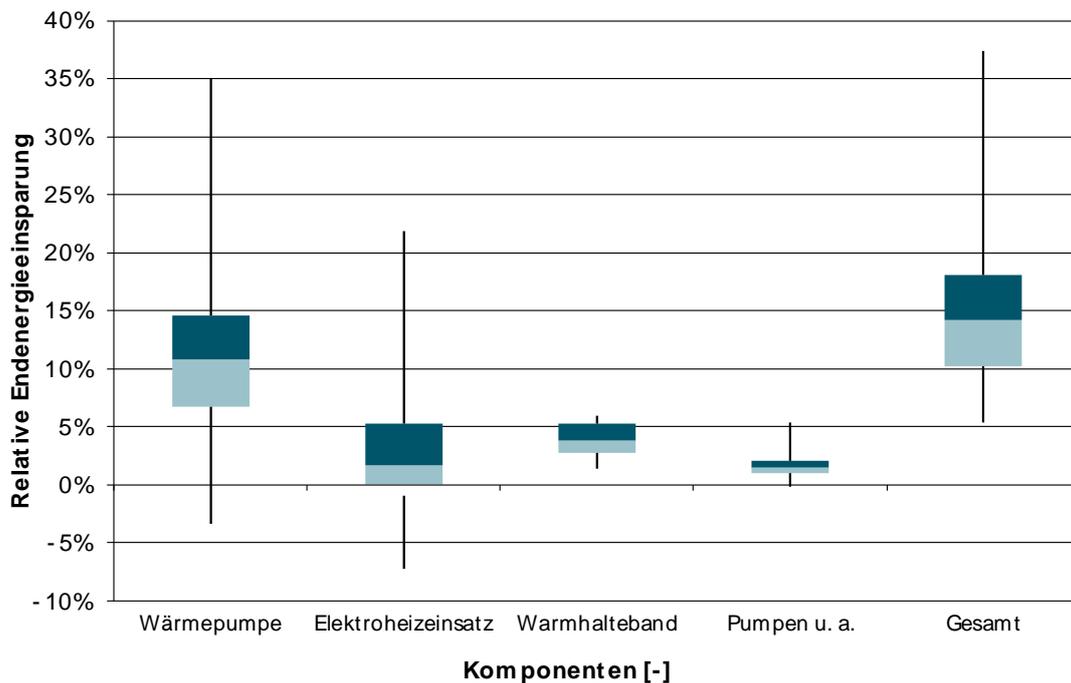
Figur 22: Übersicht der Effizienzklassen verteilt entsprechend der Unterscheidung, ob die Anlagen durch den Stromsparfonds (SSF) gefördert wurden oder nicht

Obige Figur zeigt den Anteil der drei Effizienzklassen anhand der Unterscheidung, ob die Anlagen durch den ewz Stromsparfonds (SSF) gefördert wurden oder nicht. Es fällt auf, dass der Anteil an Anlagen mit ineffizienter Betriebsweise bei den nicht geförderten Anlagen deutlich höher liegt. Die Ursache dafür dürfte wohl darin bestehen, dass sämtliche geförderten Anlagen bei der Inbetriebnahme und nach dem ersten Betriebsjahr durch einen Mitarbeiter des Stromsparfonds besucht und die Effizienz der Anlage beurteilt wurde. Dies war eine Bedingung zum Erhalt der Fördergelder. Dieses Ergebnis illustriert, wie wichtig und wirksam die Kontrolle der Betriebsweise von Anlagen ist. Gerade bei geförderten Anlagen lässt sich dies über die Festlegung der Förderbedingungen einfach umsetzen.

4.5 Einsparpotenzial durch optimierte Einstellungen

Forschungsfrage 2.1: Welches energetische Einsparpotenzial geht von optimierten Einstellungen unter Einhaltung der objektspezifischen Anforderungen an Komfort und Legionellenschutz aus?

In der nachfolgenden Figur ist das mit den optimierten Betriebsparametern (Sollwert 1, Kapitel 3.3.1) erreichbare Einsparpotenzial des Endenergieverbrauchs aufgezeigt. Die angezeigten Werte beziehen sich auf den Median der relativen Endenergieeinsparung über alle untersuchten Objekte (81 Anlagen).

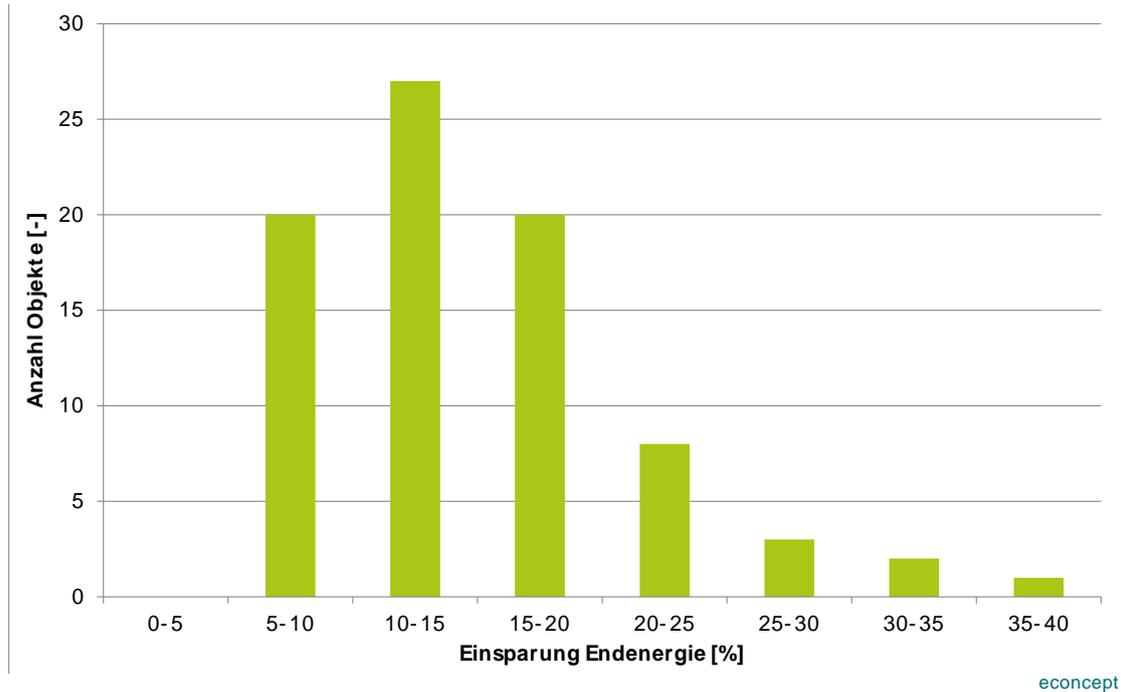


econcept

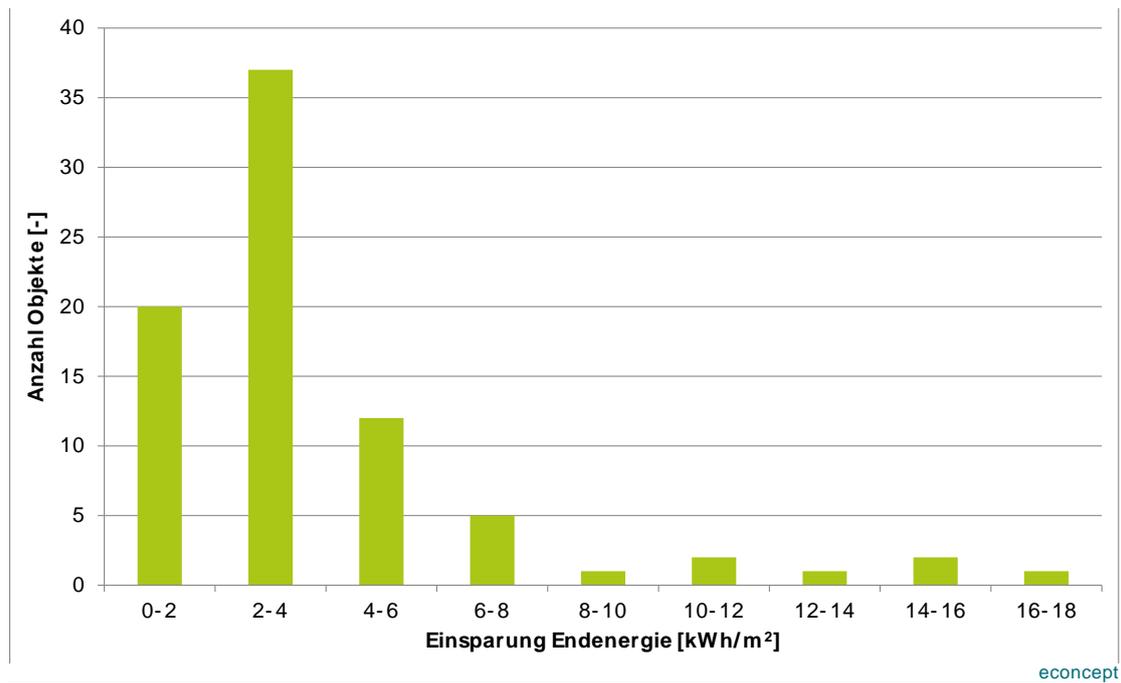
Figur 23: Übersicht der erzielbaren Endenergieeinsparung bei optimierten Betriebsbedingungen (Sollwert 1).

Über die ganzen Anlagen betrachtet liegt der Median der relativen Endenergieeinsparung bei 14 % über alle untersuchten Objekte (hinterster Graph). Dass das Einsparpotenzial nicht höher liegt, hat unter anderem damit zu tun, dass für die Optimierungsparameter auf Grund der Erfahrungen des Projektteams eher konservative Werte angenommen wurden. Beim vollständigen Ausreizen des Potenzials je nach Anlage könnten allenfalls progressivere Einstellungswerte und damit höhere Einsparungen erreicht werden. Deutlich sichtbar wird bei der Komponentenbetrachtung der grosse Einfluss der Wärmepumpe und des Elektroheizeinsatzes. Die teilweise negativen Einsparungen (Mehrverbrauch) bei einzelnen Anlagen rühren vom Zusammenspiel zwischen Wärmepumpe und Elektroheizeinsatz her. Wird zum Beispiel die stetige Warmwassertemperatur abgesenkt, so arbeitet die Wärmepumpe effizienter und damit wird dort Energie gespart. Jedoch muss der Elektroheizeinsatz bei der vorbeugenden Legionellenschaltung einen grösseren Temperaturhub bewältigen, was beim Elektroheizeinsatz dann zu negativen Einsparungen bzw. Mehrverbrauch führt. Insgesamt wird in jenen Anlagen dennoch weniger Endenergie benötigt.

Die beiden nachfolgend gezeigten Figuren stellen die Häufigkeitsverteilung der mit den optimierten Betriebsparametern erzielbaren Endenergieeinsparungen in Prozent und in Endenergie pro m^2 Energiebezugsfläche dar.



Figur 24: Häufigkeitsverteilung der mit den optimierten Betriebsparametern erzielbaren Endenergieeinsparungen in %.



Figur 25: Häufigkeitsverteilung der mit den optimierten Betriebsparametern erzielbaren Endenergieeinsparungen pro m2 Energiebezugsfläche.

Die meisten der Objekte bewegen sich in einem Bereich von 5 bis 20% bzw. 0 bis 6 kWh/m² Endenergieeinsparung. Es sind jedoch auch Ausreisser von bis zu 40% bzw. 18kWh/m² vorhanden. Wie unter Kapitel 4.4 bereits erläutert, resultieren diese Extrem-

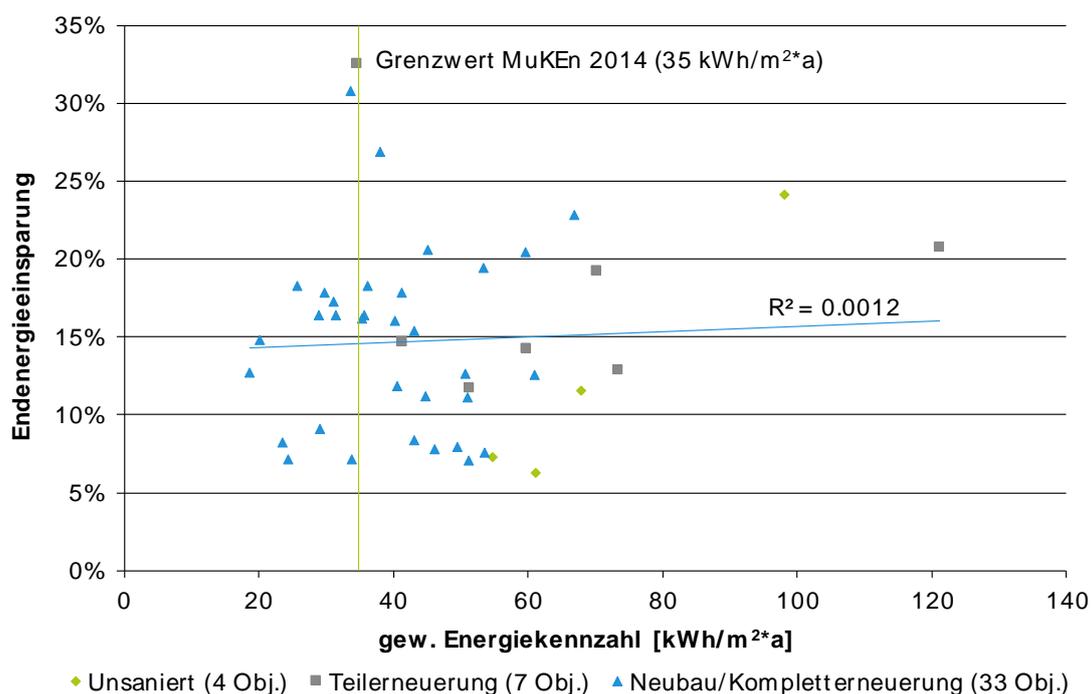


werte aus zu hoch eingestellten Heizkurven bzw. Heizgrenzen und Elektroheizeinsätzen. Der Median der Energieeinsparung liegt bei 3.2 kWh/m².

4.6 Korrelation ineffiziente Einstellungen und überhöhter Energieverbrauch

Forschungsfrage 2.2: Besteht eine Korrelation zwischen einer überhöhten Energiekennzahl und ineffizienten Betriebseinstellungen?

Die nachfolgende Figur zeigt die Gegenüberstellung der mit den optimierten Betriebsparametern (Sollwert 1 gemäss Kapitel 3.3.1) erreichten Endenergieeinsparung in Abhängigkeit von der gewichteten Energiekennzahl für Warmwasser und Heizung (Gewichtung vgl. Anhang A-1.4.7). Die Auswertungen wurden nur für Objekte mit realen Stromverbrauchsdaten und ohne Elektroboiler durchgeführt (44 Objekte). Das angegebene Bestimmtheitsmass R^2 bezieht sich nur auf die Daten der Neubauten und Gesamterneuerungen. Bei den übrigen Angaben wurde auf Grund des geringen Stichprobenumfangs auf das Darstellen einer allfälligen Korrelation verzichtet.



econcept

Figur 26: Korrelation der Endenergieeinsparung mit der gewichteten Energiekennzahl.

Anhand von R^2 lässt sich erkennen, dass zwischen einer hohen gewichteten Energiekennzahl und einer ineffizienten Betriebsweise keine Korrelation besteht. D. h. ein Gebäude mit hoher Energiekennzahl hat nicht unbedingt ein höheres Einsparpotenzial auf Seiten Betriebseinstellungen. Als Ursache für die fehlende Korrelation sieht das Projekt-

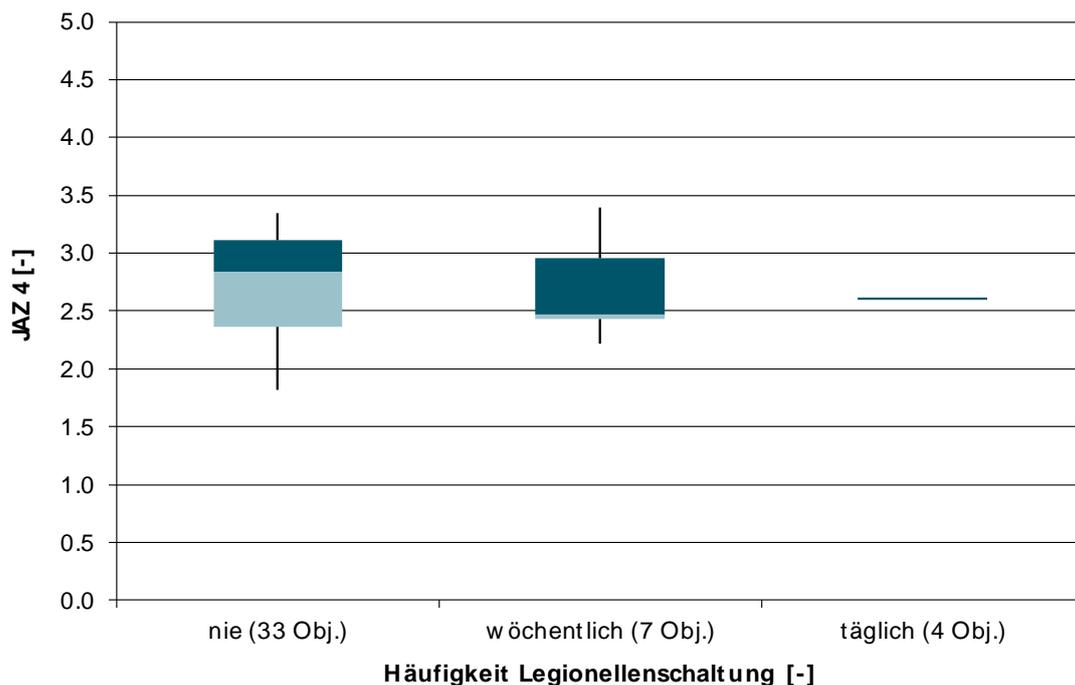


team die zahlreichen weiteren Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch, welche durch eine reine Anpassung der Betriebs-Parameter nicht beeinflusst werden. Dazu gehören beispielsweise die korrekte Dimensionierung der Anlage, die korrekte Installation und Funktion der Komponenten oder das Nutzerverhalten. Zudem wirkt sich bei Anlagen in unsanierten oder teilsanierten Gebäuden mit hohen Energiekennzahlen auf Grund der immer noch hohen Vorlauftemperaturen eine Absenkung der Heizkurve weniger stark auf die Effizienz der Wärmepumpe aus, als in Gebäuden mit tiefen Vorlauftemperaturen. Weiter ist zu erwähnen, dass die vorhandenen Informationen zur Energiebezugsfläche als teilweise sehr ungenau einzuschätzen sind. Das Projektteam geht auf Grund der unterschiedlichen Methoden der Flächenerhebung davon aus, dass sich die Ungenauigkeiten über alle Objekte ausgleichen.

4.7 Korrelation Legionellenschutz und JAZ

Forschungsfrage 2.3: Besteht eine Korrelation zwischen der Art des Legionellenschutzes (wöchentlich, täglich, permanent mit Elektroheizeinsatz Begleitbandheizung etc.) und der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage bzw. der Energiekennzahl des Gebäudes?

Die nachfolgende Figur zeigt die JAZ 4 (vgl. Kapitel 3.1.2 «Systemgrenzen») in Abhängigkeit der Häufigkeit der Legionellschaltung. Die Auswertungen wurden nur für Objekte mit gemessenen Stromverbrauchsdaten und ohne Elektroboiler durchgeführt (44 Objekte).



econcept

Figur 27: Darstellung der JAZ 4 in Abhängigkeit der Häufigkeit der Legionellenschaltung. Bei der täglichen Schaltung wird nur der Median angezeigt.

Anhand der Figur ist erkennbar, dass die JAZ 4 bei Anlagen ohne Legionellenschaltung im Median deutlich höher liegt als bei einer wöchentlichen oder täglichen Legionellenschaltung. Auf Grund der geringen Anzahl Objekte mit täglicher Legionellenschaltung wird im rechten Graph nur der Median angezeigt. Auch im Falle der wöchentlichen Legionellenschaltung ist die geringe Anzahl Objekte zu berücksichtigen. Die Tendenz der sinkenden JAZ 4 in Abhängigkeit von der Häufigkeit einer Legionellenschaltung wird jedoch durch die Untersuchungen im nachfolgenden Kapitel 4.8 bestätigt.

4.8 Zusatzauswertung: Mehrverbrauch Endenergie (Sollwerte 1-4)

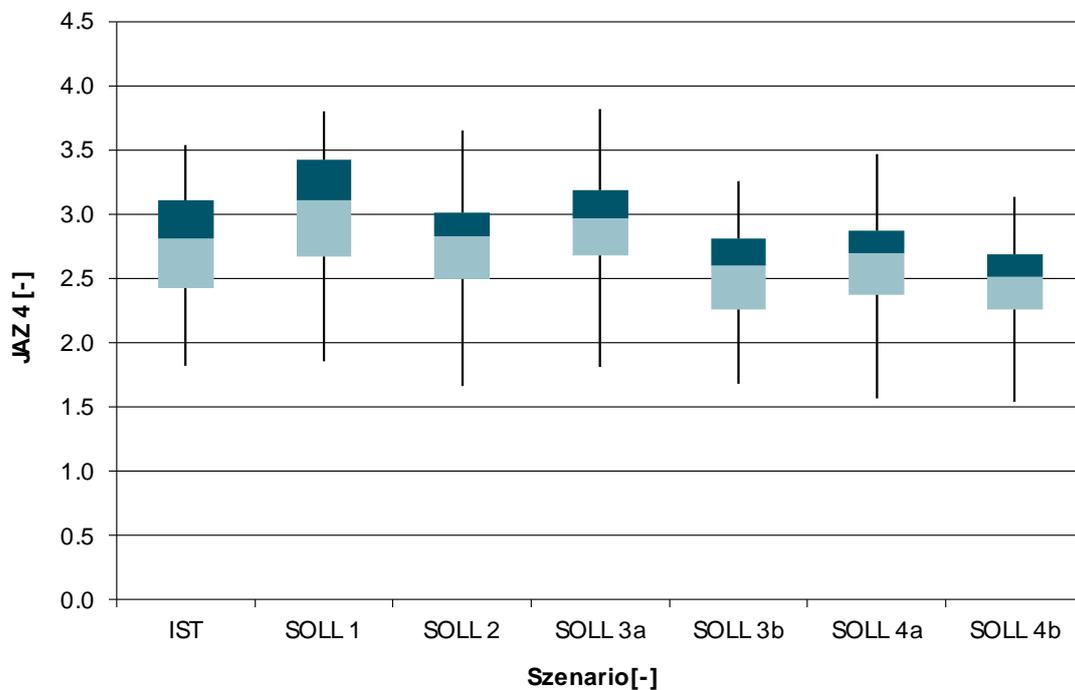
Nachfolgend werden die Ergebnisse der Berechnungen betreffend dem zusätzlichen Endenergieverbrauch zur Einhaltung der heute aktuellen SIA 385/1:2011 gezeigt und es wird aufgezeigt, welche energetischen Auswirkungen es hätte, wenn immer 60° am Speicherausgang eingehalten werden müssten. Der zusätzliche Endenergieverbrauch zur Einhaltung der schärferen Vorgaben gemäss Vernehmlassungsentwurf SIA 385/1:2016-Entwurf würde zum einen durch höhere Speicher- und Verteilverluste und zum anderen durch den ineffizienteren Betrieb der Wärmepumpe auf Grund des grösseren Temperaturhubes verursacht.

Spezifischer Endenergieverbrauch Warmwasser

Figur 28 zeigt eine Gegenüberstellung der JAZ 4 in Abhängigkeit der jeweiligen Anforderungen an die Warmwassertemperatur gemäss SIA 385/1:2011 bzw. 385/1:2016-Entwurf

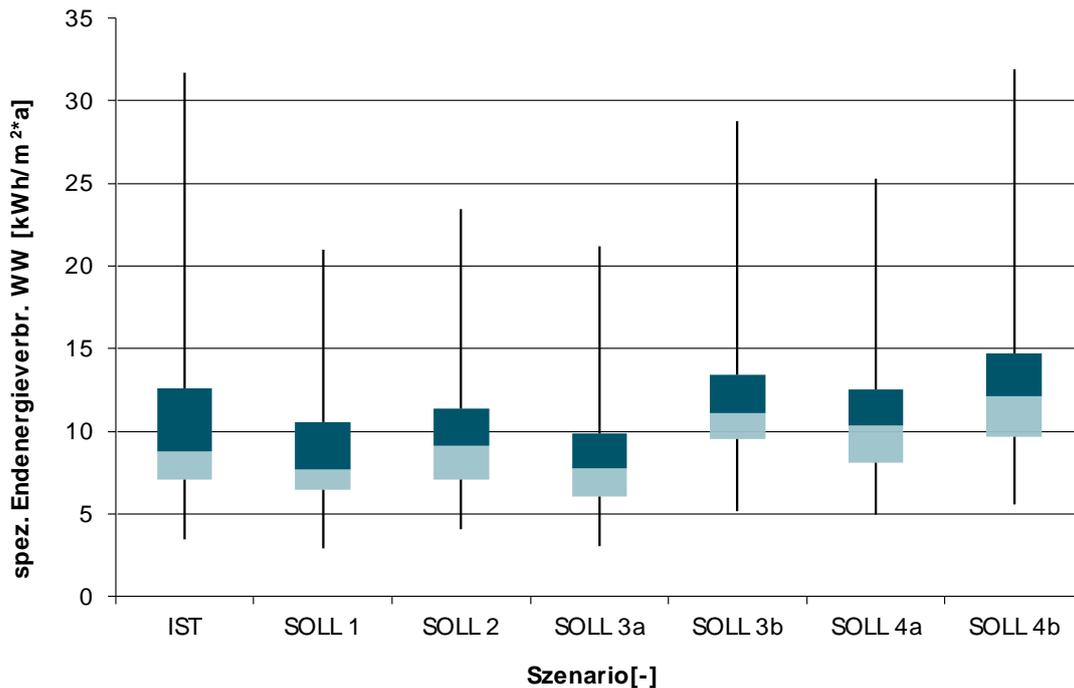


(vgl. Kap. 3.3). Figur 29 zeigt den spezifischen Endenergieverbrauch in Bezug auf das Warmwasser ebenfalls in Abhängigkeit der verschiedenen Sollzustände. Ergänzend werden in Tabelle 20 die Median-Werte des spezifischen Endenergieverbrauchs über alle Szenarien in Zahlen aufgezeigt.



econcept

Figur 28: Gegenüberstellung der JAZ 4 in Abhängigkeit des Szenarios. SOLL1 = energieoptimierter Betrieb teilweise ohne Legionellenschaltung, SOLL2 = konstant 55° ohne Legionellenschaltung, SOLL3a = konstant 50° plus tägliche Legionellenschaltung mit Wärmepumpe, SOLL3b = konstant 50° plus tägliche Legionellenschaltung mit Elektroheizeinsatz, SOLL4a = konstant 60° mit Wärmepumpe, SOLL4b = konstant 60°, von 50° auf 60° mit Elektroheizeinsatz.



econcept

Figur 29: Gegenüberstellung des spezifischen Endenergieverbrauchs (ungewichtet) für Warmwasser in Abhängigkeit des Szenarios. SOLL1 = energieoptimierter Betrieb teilweise ohne Legionellenschaltung, SOLL2 = konstant 55° ohne Legionellenschaltung, SOLL3a = konstant 50° plus tägliche Legionellenschaltung mit Wärmepumpe, SOLL3b = konstant 50° plus tägliche Legionellenschaltung mit Elektroheizeinsatz, SOLL4a = konstant 60° mit Wärmepumpe, SOLL4b = konstant 60°, von 50° auf 60° mit Elektroheizeinsatz.

Szenario	Beschreibung	Spez. Endenergiebedarf für Warmwasser	Index im Vergleich zu IST
IST	Ist	8.8 kWh/m ² *a	100 %
SOLL 1	energieoptimierter Betrieb, teilweise keine Legionellenschaltung	7.7 kWh/m ² *a	88 %
SOLL 2	konstant 55°, ohne Legionellenschaltung	9.1 kWh/m ² *a	104 %
SOLL 3a	konstant 50° plus tägliche Legionellenschaltung mit Wärmepumpe	7.7 kWh/m ² *a	97 %
SOLL 3b	konstant 50° plus tägliche Legionellenschaltung mit Elektroheizeinsatz	11.1 kWh/m ² *a	126 %
SOLL 4a	konstant 60° mit Wärmepumpe	10.3 kWh/m ² *a	118 %
SOLL 4b	konstant 60°, von 50° auf 60° mit Elektroheizeinsatz	12.1 kWh/m ² *a	138 %

Tabelle 20: Übersicht der Median-Werte des spezifischen Endenergieverbrauchs in Bezug auf das Warmwasser über alle Szenarien.

SOLL 1 energieoptimiert, teilweise ohne Legionellenschaltung

Auf Grund der Betriebsoptimierung reduziert sich der spezifische Endenergiebedarf zur Bereitstellung des Warmwassers im Median um 12 %. Es ist jedoch zu beachten, dass in



diesem Szenario ca. zwei Drittel der Anlagen die gemäss SIA 385/1:2001 geltenden Anforderungen an den Legionellen-Schutz nicht einhalten.

SOLL 2 konstant 55°, ohne Legionellenschaltung

Die obenstehenden Darstellungen zeigen, dass im Vergleich zur IST-Situation nur 5 % zusätzliche Endenergie aufgewendet werden muss, um die Forderung nach der dauernden Warmwassertemperatur von 55°C einzuhalten. Auch die JAZ 4 bleibt praktisch konstant. Die Ursache liegt darin, dass die meisten Anlagen bereits eine stetige Warmwassertemperatur im Bereich von 50-55°C einhalten und daher keine grosse Veränderung der Betriebsbedingungen stattfindet.

SOLL 3a und 3b konstant 50° plus tägliche Legionellenschaltung

In diesem Szenario wird der Einfluss der Art der Legionellenschaltung, also ob diese mit der Wärmepumpe oder mit dem Elektroheizeinsatz durchgeführt wird, deutlich sichtbar.

Im ersten Fall (3a) reduziert sich der Endenergieverbrauch auf Grund der Durchführung der Legionellen-Schaltung mit der Wärmepumpe im Vergleich zum IST Zustand um 12 % oder um 1.1 kWh/m²a. Im Gegensatz dazu muss in Szenario 3b 38 % mehr Endenergie aufgewendet werden, um denselben Ansprüchen zu genügen. Auch bei der JAZ 4 zeigt sich dieser Effekt deutlich. Allerdings sind in den untersuchten Objekten praktisch keine Wärmepumpenanlagen anzutreffen, welche in der Lage sind, die für die Legionellenschaltung geforderte Temperatur von 60°C zu erzeugen (vgl. Kap 3.3.4)

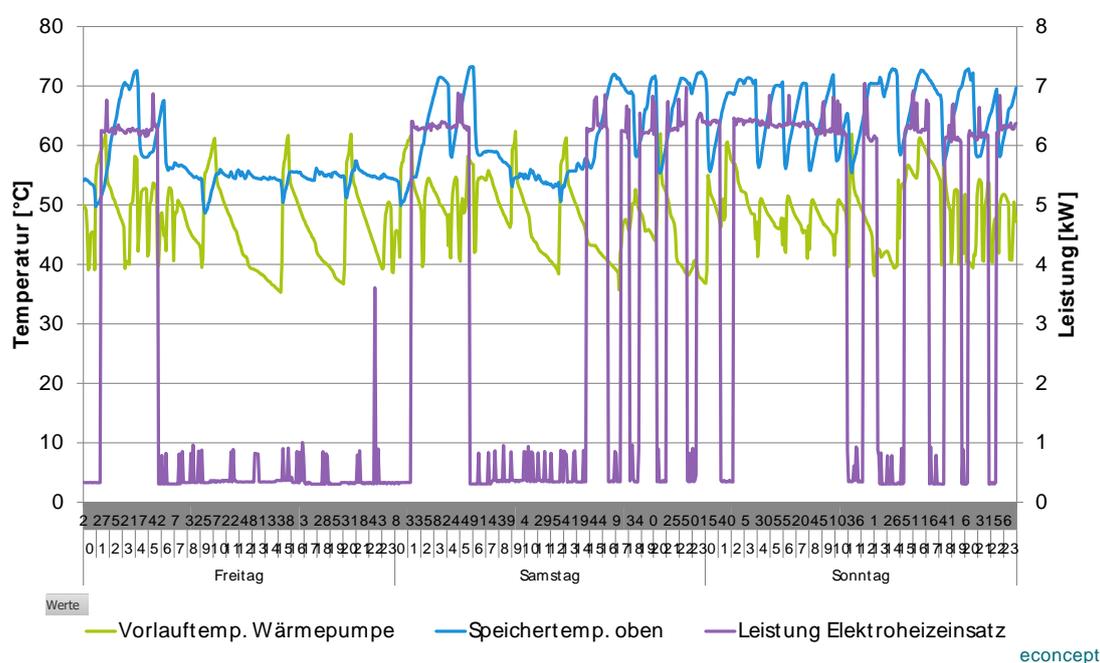
SOLL 4a und 4b konstant 60°

Auch bei diesen beiden Szenarien wird der Einfluss der Art der Legionellenschaltung wie bei den Szenarien 3a und 3b deutlich. Obwohl das Warmwasser im Fall von Szenario 4a monovalent mit der Wärmepumpe erzeugt wird, ist ein stark überhöhter Endenergieverbrauch erkennbar. In Szenario 4b ist der Verbrauch entsprechend noch höher. Allerdings ist die Variante 4b mit Elektroheizeinsatz die Situation, welche bei einer Verschärfung der SIA 385/1 wohl am häufigsten angetroffen würde. Müssten Anlagen mit Elektroheizeinsatz in Zukunft konstant 60° einhalten, würden also im Mittel sämtliche Einsparungen, die mit einem energieoptimierten Betrieb gemäss Sollwert 1 erzielten werden könnten, mehr als rückgängig gemacht. Bei den untersuchten Anlagen handelt es sich überwiegend um Sole/Wasser-Wärmepumpen. Der negative Effekt würde im Falle von Luft/Wasser-Wärmepumpen noch verstärkt, sofern die 60°C mit der Wärmepumpe erzeugt werden. Im Falle der Nacherwärmung durch den Elektroheizeinsatz wird die energetische Auswirkung der hohen Temperatur durch die eingesetzte Wärmepumpen-Technologie nicht beeinflusst.

Die Berechnungen des Szenario 4b gehen davon aus, dass das Warmwasser nur von 50° um 10 K bis zur Erreichung der stetigen Warmwassertemperatur von 60°C direkt elektrisch erhitzt wird. Figur 30 zeigt jedoch, dass dies in der Realität nicht immer der Fall ist. In diesem Beispiel erfolgt die Erzeugung des Warmwassers während den Freigabezeiten des Elektroheizeinsatzes praktisch rein elektrisch. Die Ursache dafür findet sich in



diesem Fall in der Position des Elektroheizeinsatzes und dessen Temperaufühler. Der Temperaturfühler des Elektroheizeinsatzes, meist ein in das Bauteil integrierter Bimetall-Fühler, befindet sich weiter unten im Speicher als derjenige der Wärmepumpe. Dies führt dazu, dass das nachströmende Kaltwasser den Temperaturfühler des Elektroheizeinsatzes zuerst erreicht und den Elektroheizeinsatz einschaltet bevor die Wärmepumpe ein Einschaltsignal durch ihren höher liegenden Temperaturfühler erhält. Wäre nun der Elektroheizeinsatz ganzjährig freigegeben, um die stetige Warmwassertemperatur von 60°C zu gewährleisten, so hätte das noch weit dramatischere Auswirkung auf den zusätzlichen Endenergieverbrauch als in Szenario 4b errechnet. Solche Anlagen- bzw. Betriebskonfigurationen sind daher unbedingt zu vermeiden.



Figur 30: Darstellung Leistungs- und Temperaturverlauf im Warmwassererwärmer während der dauernden Freigabe des Elektroheizeinsatzes durch das Rundsteuersignal; Quelle: Auswertung Energie Zukunft Schweiz im Rahmen der Objektbegehungen

4.9 Zusatzauswertung: Auswertung Legionellen-Beprobung

Wie in Kapitel 3.4 beschrieben konnten im Rahmen einer anderen Studie des Kantonalen Labor Zürich acht Objekte im Raum Zürich, welche die Anforderungen an den Legionellenschutz in Trinkwassersystemen gemäss SIA 385:2011 nicht einhalten (weil die stetige Warmwassertemperatur unter 55°C liegt aber keine periodische Erhitzung auf 60°C erfolgt), kostenlos auf die Kontamination mit Legionellen untersucht werden.

Bei zwei von acht untersuchten Objekten wurde eine Kontamination mit Legionellen (*Legionella species*) nachgewiesen. Alle anderen Beprobungen lagen unter der Nachweisgrenze von 10 Kolonie bildenden Einheiten pro Liter (KBE/L). Auf Grund des geringen



Stichprobenumfangs können von den Ergebnissen keine allgemeingültigen Aussagen abgeleitet werden. Die Resultate der beiden Objekte mit positiven Messungen sind in der untenstehenden Tabelle ersichtlich.

Objektnr.	Zapfstelle	Konzentration ohne Vorspülen Legionella species	Konzentration nach Vorspülen Legionella species
1	Waschküche, Waschtrog	114'000 KBE/L	7'000 KBE/L
1	2. Stock, Wohnung, Lavabo	730 KBE/L	1'000 KBE/L
2	Heizungsraum, Lavabo	33'000 KBE/L	2'000 KBE/L
2	Wohnung, Lavabo	40'000 KBE/L	3'000 KBE/L

Tabelle 21: Übersicht Resultate der positiven Legionellen Beprobungen.

Die Messungen zeigen, dass bei den zwei Objekten insbesondere in den Ausstossleitungen – das heisst bei der Messung ohne Vorspülen – sehr hohe Konzentrationen an Legionellen gefunden wurden. Es ist sogar möglich, dass in diesen Fällen die Infizierung des Systems von den Ausstossleitungen ausging. Ob eine Kontamination der Ausstossleitungen auf Grund einer dauernden Warmwassertemperatur von 60°C hätte verhindert werden können, kann auf Grund der Untersuchung nicht beurteilt werden. Eine Studie von Proctor et al. (2017) zeigt jedoch, dass insbesondere Duschschräuche und Duschbrausen unter anderem auf Grund der eingesetzten Werkstoffe ein Risikobereich für die Verbreitung von Legionellen darstellen. Diese werden in der Regel zu keinem Zeitpunkt durch die hohen Wassertemperaturen von 60°C der Legionellenschaltung erreicht, da sich der Duschschlauch nach der Mischbatterie befindet und während dem Duschen somit mit maximal 45°C durchströmt wird.

Die Resultate dieser kleinen empirischen Untersuchung im Rahmen der vorliegenden Studie zeigen vor allem, dass im Bereich des Zusammenhangs zwischen Warmwassertemperaturen in Wassererwärmern und Verteilsystemen und der Legionellenkontamination noch einiges an Forschungsbedarf besteht.

4.10 Hindernisse für Betriebsoptimierungen

Welches sind die Hindernisse für Betriebsoptimierungen bei Mehrfamilienhäusern (die aktuellen Verantwortlichen, Verantwortlichkeiten generell, unklare Zuständigkeitsregelungen, technische Richtlinien und Normen etc.)?



4.10.1 Rolle der verschiedenen Verantwortlichkeiten

Forschungsfrage 3.1: Inwiefern hemmt die starke Segmentierung der Verantwortlichkeiten einen energieoptimierten Anlagebetrieb?

Die Recherchen im Rahmen der Studie haben gezeigt, dass es in zwei Bereichen eine starke Arbeitsteilung und eine Segmentierung der Verantwortung gibt, die sich nachteilig auswirken können:

- Die Arbeitsteilung beim Betrieb und der Verwaltung von Wohnliegenschaften
- Die Arbeitsteilung von der Planung über den Bau bis zum Betrieb von Wärmepumpen-Anlagen

Arbeitsteilung im Gebäudebetrieb

Auf Grund der Professionalisierung und wegen der steigenden Komplexität in allen Bereichen der Gebäudebewirtschaftung kümmern sich immer mehr Spezialisten/innen um die verschiedenen Aspekte des Betriebs und der Bewirtschaftung von Wohnliegenschaften.

Die Informationen zum Energieverbrauch, welche die Verwaltung für die Heiz- und Nebenkostenabrechnung benötigt, werden oft von spezialisierten Abrechnungsfirmen geliefert. Die Verbrauchsinformationen wären eine gute Basis zur Einschätzung der Anlageeffizienz. Sie gelangen jedoch meistens weder zu einem technischen Dienst für die Anlagekontrolle noch zum Servicepersonal der Anlage.

Der Hauswart vor Ort übernimmt betreffend Heizungsanlage nur noch die Sichtkontrolle. Einstellungsänderungen machen gemäss der Befragung für die vorliegende Studie in 70% der Fälle das Servicepersonal des Wärmepumpenherstellers oder in 40% der Fälle auch der Heizungsinstallateur. Zudem werden solche Anpassungen meistens nur im Zusammenhang mit technischen Problemen vorgenommen.

Rund die Hälfte der befragten Personen meint, dass die Fachpersonen, die Einstellungsänderungen vornehmen dürfen – also in der Regel das Service-Personal des Wärmepumpenherstellers –, den energieoptimierten Betrieb der Anlage sicherstellen. Dies ist jedoch nicht der Fall. Für zwei Drittel der untersuchten Anlagen besteht zwar ein Servicevertrag, jedoch nur bei 10% davon umfasst dieser auch eine regelmässige Systemüberprüfung im Hinblick auf einen energieoptimierten Betrieb. Dies deckt sich mit den Angaben der Gesprächspartner von der Lieferanten- und Herstellerseite. Diese erklärten, dass bei ihren Servicebesuchen meistens kein/e Liegenschaftsverantwortliche/r vor Ort sei, der/die Rückmeldungen zu den Erfahrungen mit der Anlage machen würde. Das Servicepersonal mache in diesen Fällen selbst keine Anpassungen an der Anlage, weil man sonst riskiere, nochmals auf die Anlage gerufen zu werden. Nur wenn die Parameter allzu stark von einer bestimmten Wertespanne abweichen, werden Anpassungen vorgenommen.



Die Kombination der starken Arbeitsteilung in der Gebäudebewirtschaftung mit der Tatsache, dass die Personen vor Ort häufig fälschlicherweise meinen, der Wärmepumpen-Service sei für einen energieoptimierten Betrieb zuständig, führt dazu, dass ersten ineffizient laufende Anlagen nicht erkannt werden und zweitens niemand den Aufwand einer schrittweisen Optimierung auf sich nimmt.

Arbeitsteilung von Planung bis Betrieb der Wärmepumpen-Anlage

Die Studie zeigt auch die Nachteile einer zweiten Verantwortungssegmentierung im Zusammenhang mit Wärmepumpen: derjenigen auf dem Weg von der Planung bis zum Betrieb. In dieser Verantwortungskette kommt zur Arbeitsteilung hinzu, dass sich die verschiedenen Fachpersonen teilweise in einem Auftraggeber-Kunden-Verhältnis befinden. Die Installateure/innen sind wichtige Kunden der Wärmepumpen-Hersteller. Wenn die Hersteller bei der Inbetriebnahme allenfalls Installationsfehler bemerken, haben sie deshalb wenig Interesse, diese aufzudecken. Stattdessen kompensieren sie den Fehler lieber mit angepassten Anlageparametern, die dann allerdings nicht mehr dem Optimum der Anlage entsprechen. Die Installateure/innen wiederum erhalten ihre Aufträge oft von den Planenden. Deshalb haben die Installateure/innen auch kein Interesse daran, allfällige Planungs- oder Konzeptionsfehler anzuprangern sondern kompensieren diese allenfalls mit der Anlage. Dies kann sich nachteilig auf die Effizienz der Wärmepumpenanlage auswirken.

Bezüglich der Verantwortungskette ist insbesondere problematisch, dass die Anlageplanenden die Anlage nicht bis in den Betrieb begleiten. Oft fehlt sogar eine sorgfältige Kontrolle des Inbetriebnahme-Protokolls durch die Planenden. Die Informationen darüber, wie eine Anlage betrieben werden sollte, finden oft den Weg nicht bis zu den Betriebsverantwortlichen oder zum Servicepersonal. Dies führt gerade bei sensiblen Systemen wie Wärmepumpenanlagen dazu, dass sie weniger effizient laufen als sie gemäss Planung sollten.

Wir vermuten, dass sich die Fachpersonen für die Inbetriebnahme oft nur für die Hauptkomponente der Anlage, nämlich die Wärmepumpe, zuständig fühlen und nicht für das Gesamtsystem. Dies würde erklären, weshalb bei den Begehungen beispielsweise Notheizungen mit Elektroheizeinsätzen gefunden wurden, die fälschlicherweise für den Dauerbetrieb angeschlossen waren.

4.10.2 Rolle von Richtlinien: Fokus SIA 385

Forschungsfrage 3.2: Inwiefern hemmen offizielle Empfehlungen, Richtlinien und Normen die energetische Betriebsoptimierung?

Das Projektteam ist von der Hypothese ausgegangen, dass die Norm SIA 385/1:2011 mit ihren Anforderungen an den Legionellenschutz die Arbeit von Betriebsoptimierenden einschränkt. Nun haben die Begehungen gezeigt, dass knapp zwei Drittel der untersuchten Anlagen sich nicht an die aktuellen Empfehlungen zum Legionellenschutz halten. Ob



es sich dabei um Unwissenheit oder um eine bewusste Entscheidung für einen Verzicht handelt, konnte im Rahmen der Begehungen nicht ermittelt werden.

Für das Projektteam entstand jedoch das Paradox, dass man die Eigentümerschaften auf die geltenden Normen aufmerksam machen sollte, dass eine Einhaltung der Norm jedoch in zwei Dritteln der Fälle zu einem energetischen Mehrverbrauch führen würde. Dies würde noch verstärkt gelten, wenn die SIA 385/1 gemäss dem zurückgezogenen Vernehmlassungsentwurf eine permanente Temperatur von 60° am Ausgang des Speichers vorsehen würde. Gleichzeitig ist bisher nicht wissenschaftlich geklärt, welcher Anteil an Legionellose-Erkrankungen (Legionärskrankheit) durch das strikte Einhalten der aktuellen SIA 385/1 oder durch eine Verschärfung der SIA 385/1 vermieden werden könnte.

Insofern lautet die Erkenntnis, dass in Bezug auf SIA 385/1 die Norm bisher wenig negative energetische Wirkung entfaltet, weil sie oft nicht eingehalten wird und weil die meisten Anlagen eben gerade nicht von professioneller Seite optimiert wurden. Denn bei einer professionell durchgeführten energetischen Betriebsoptimierung müsste auf die aktuellen Anforderungen betreffend Legionellenschutz hingewiesen werden, was potenziell zu einer energetischen Verschlechterung führt.

Unter den untersuchten Anlagen gab es nur wenige mit zu hoher Temperatur der periodischen Legionellenschaltung. In diesem Bereich lag das Einsparpotenzial daher unter den Erwartungen des Projektteams. Allerdings gab es einige Objekte mit überhöhtem Verbrauch wegen zu lang freigegebenem Heizstab für die Legionellenschaltung. Das war immer dort der Fall, wo der Heizstab für die Legionellenschaltung über das Rundsteuersignal freigegeben wird.

4.10.3 Weitere Hemmnisse für energetische Betriebsoptimierungen

Forschungsfrage 3.3: Welche anderen Faktoren hemmen die energetische Betriebsoptimierung

Informationslücken der Personen vor Ort

Die energetische Optimierung einer Anlage erfolgt idealerweise in kleinen Teilschritten, damit man sich für die Bewohnenden unmerklich dem Optimum annähern kann. Das schrittweise Vorgehen kann mit wenig Aufwand erfolgen, wenn die verantwortliche Person ohnehin regelmässig vor Ort ist. Damit wären die Hauswarte/innen, die im Gebäude wohnhafte Eigentümerschaft oder allenfalls der technische Dienst vor Ort die idealen «Optimierer». Auf Grund der Befragung muss jedoch davon ausgegangen werden, dass sich diese Personen von den Anlagen überfordert fühlen. Denn die drei wichtigsten Aspekte, die gemäss Befragung einen energetisch optimierten Betrieb begünstigen würden, lauteten:

— Wenn regelmässig eine Fachperson beigezogen werden könnte (von 38% genannt).



- Wenn die zuständig(en) Person(en) besser über die Parameter eines optimalen Betriebs informiert würden (von 32% genannt).
- Eine einfachere Bedienung der Wärmepumpensteuerung (von 32% genannt).

Der erste Punkt weist darauf hin, dass eine kompetente Ansprechperson wirkungsvoller wäre als ein breites Aus- und Weiterbildungsangebot. Denn die Verantwortlichen vor Ort sehen sich nur selten mit Fragen zur Wärmepumpenanlage konfrontiert. In diesem Moment wären sie jedoch auf Unterstützung angewiesen. Eine aufwändige Weiterbildung dazu dürfte jedoch auf wenig Interesse stossen.

Fehlende oder falsche Anreize

Obwohl gemäss der Befragung vor Ort nur selten Reklamationen der Auslöser für Anpassungen an der Wärmepumpenanlage waren, scheinen sich viele Verantwortliche vor Reklamationen zu fürchten. Man schätzt die Bewohnenden möglicherweise kritischer und sensibler ein, als dass sie sind – dies lässt sich zumindest für unser Objektsample vermuten. Dies führt jedoch generell zu «konservativen» Einstellungen, die dafür sorgen, dass kein Anlass für Beanstandungen in Bezug auf die Raumwärme und das Warmwasser besteht. Konservative Einstellungen führen jedoch auch zu einem überhöhten Energieverbrauch, weil sie unnötige Sicherheitsmargen enthalten.

Vor diesem Hintergrund ist jedoch zu bedenken, dass im Gegensatz zu Reklamationen bei kalten Radiatoren eine um einige Franken höhere Nebenkostenabrechnung kaum zu einer Reklamation führt. Der überhöhte Energieverbrauch wird nämlich bei den aktuell tiefen Energiepreisen finanziell nicht wahrgenommen. Gerade bei Neubauten und Gesamterneuerungen mit geringem Heizwärmebedarf fallen auch überhöhte Energiekosten kaum ins Gewicht im Vergleich mit den übrigen Nebenkosten wie beispielsweise der Hauswartung.

Hinzu kommt als zentrales Problem das Mieter-Vermieter-Dilemma: Die Eigentümerschaft müsste die energetische Betriebsoptimierung finanzieren, die Mieterschaft würde davon profitieren. Mit dem aktuellen Mietrecht ist es fast nicht möglich, die Kosten einer energetischen Betriebsoptimierung auf die Nebenkosten zu überwälzen. Solange kein Druck von Seiten Mietenden vorhanden ist, hat die Eigentümerschaft deshalb keinen finanziellen Anreiz, sich um einen effizienten Betrieb der Wärmepumpenanlagen zu bemühen.

4.10.4 Zusammenfassung der Hemmnisse

Die nachfolgende Figur fasst die Erkenntnisse zu den Hemmnissen für energetisch optimal eingestellte Wärmepumpenanlagen zusammen.



Hemmnisse für den energetisch optimierten Betrieb von Wärmepumpen in Wohngebäuden

Arbeitsteilung in der Gebäudebewirtschaftung

- Zahlreiche gleichzeitig Beteiligte (nicht abschliessend): Eigentümerschaft, kaufmännische Verwaltung, Hauswart/baulich-technische Verwaltung, Abrechnungsfirma VHKA, Servicefirma Heizung
- Informationen zu Gebäude, Nutzenden-Befindlichkeit, Energieverbrauch etc. sind zwar vorhanden, jedoch an unterschiedlichen Stellen.
- Niemand ist/fühlt sich für energieoptimierten WP-Betrieb zuständig. Hintergrund: wird von Eigentümerschaft nicht explizit eingefordert (siehe letzter Kasten).

Arbeitsteilung von Planung bis Betrieb

- Abfolge von Zuständigkeiten: Heizungsplaner/in, Heizungslieferant/in, Heizungsinstallateur/in, Inbetriebnahme-Ingenieur/in, Servicetechniker/in, Hauswart/in: Betriebsrelevante Informationen aus der Planung gelangen oft nicht zum Inbetriebnahme-Ingenieur, zu den Verantwortlichen vor Ort, zum Servicetechniker.

Missverständnisse

- Personen vor Ort meinen, Servicetechniker oder Heizungsinstallateur sind für energieoptimierten Betrieb zuständig. -> Aber Serviceverträge umfassen selten eine energetische Betriebsoptimierung (eBO).
- Ohne Informationen und Erfahrungen aus dem Betrieb ist eBO auch für Fachpersonen schwierig.

Informationslücken der Personen vor Ort

- Hauswarte/innen etc. sind keine WP-Fachpersonen.
- Es fehlen ihnen Informationen dazu, wie eine WP korrekt laufen müsste und wie das überprüft werden könnte.
- Schwer verständliche Steuerungsprogramme, Steuerungsinformationen z. T. im Servicebereich des Programms und damit nicht zugänglich.

Fehlender Problemdruck und falsche Anreize

- Die Energie ist zu günstig. Eine überhöhte Energierechnung wegen suboptimalen Betriebseinstellungen belastet das Budget der Wohnungsnutzenden nicht wahrnehmbar.
- Bei Mietwohngebäuden müsste die Eigentümerschaft die eBO bezahlen, während nur die Mieterschaft von den späteren Einsparungen profitiert.
- Die Verantwortlichen vor Ort profitieren mehr davon, wenn es keine Mieterreklamationen gibt (was bei Anpassungen an der Heizung befürchtet wird) als wenn die Energiekosten sinken.

econcept

Figur 31: Übersicht zu den Faktoren, welche verhindern, dass mehr Wärmepumpenanlagen energieoptimiert betrieben werden. eBO = energetische Betriebsoptimierung

4.11 Erkenntnisse aus den Betriebsoptimierungen

Im Herbst 2017 versandte das Projektteam Optimierungsempfehlungen an die Eigentümerschaften der untersuchten Objekte. Ein Muster dieser Optimierungsempfehlung findet sich im Anhang A-3. Nach Ende der Heizsaison im Frühjahr 2018 wurden die Eigentümerschaften entweder per Telefon oder Anhand eines online-Fragebogens erneut kon-



taktiert. Im Fokus standen für die Kontaktnahme die Objekte mit einem energetischen Einsparpotenzial von mehr als 10 %. Von den insgesamt 81 untersuchten Anlagen, gingen 49 Rückmeldungen ein (Nordwestschweiz n=15, Zürich n=34).

In 19 Fällen waren die Empfehlungen ganz oder teilweise umgesetzt worden. In allen 19 Fällen wurden die Heizkurve und/oder Heizgrenze abgesenkt. Teilweise konnten die vorgeschlagenen Parameterwerte des Projektteams nicht erreicht werden. Mögliche Ursachen dafür sind die inkorrekte Einschätzung der Gebäudehülle durch das Projektteam oder allenfalls unerkannt falsch eingestellte Wärmeabgabesysteme wie zum Beispiel ein fehlender hydraulischer Abgleich. Im Bereich Warmwasser haben nur zwei Eigentümerschaften Massnahmen zur Reduktion des Energieverbrauches durchgeführt. Als Ursache wurde die Angst vor Reklamationen auf Grund von Komforteinbussen oder vor einer Kontamination mit Legionellen genannt. Bei 16 Objekten wurde die Umsetzung auf die nächste Heizperiode verschoben.

Zwei Eigentümer gaben an, dass die Optimierung in der Liegenschaft durchgeführt wurde, jedoch unmittelbar Reklamationen auftraten und die Einstellungen daher rückgängig gemacht wurden. Bei diesen Optimierungen wurden die durch das Projektteam vorgeschlagenen Parameter nicht wie empfohlen stufenweise, sondern in einem Schritt umgesetzt. Es ist auch möglich, dass Schwachstellen beim Wärmeabgabesystem dazu geführt haben, dass nach der Einstellungsanpassung in einzelnen Wohnungen scheinbar die gewünschte Raumtemperatur nicht mehr erreicht wurde. Solche Schwachstellen könnten ein fehlender hydraulischer Abgleich sein, Luft im Verteilsystem oder geschlossene oder defekte Thermostatventile in den Wohnungen.

In den übrigen 14 Fällen mit einer Rückmeldung sind keine Optimierungen vorgesehen. Als Hinderungsgrund wurde die Angst vor Reklamationen auf Grund von Komforteinbussen genannt. Dabei scheint der Bereich Warmwasser wesentlich sensibler zu sein als die Raumwärme. Zudem wurden mehrfach die Angst vor einer Kontamination mit Legionellen geäußert, auch wenn bereits heute keine funktionierende Legionellenschaltung vorhanden war.



5 Übertragung der Erkenntnisse in die Praxis

5.1 Vorgehen

In einem ersten Schritt wurden die Erkenntnisse aus den Recherchen, der Befragung der Verantwortlichen vor Ort und der Anlageanalysen zusammengefasst. Auf dieser Basis wurden vom Projektteam Vorschläge formuliert, wie erreicht werden könnte, dass Wärmepumpenanlagen in Mehrfamilienhäusern energetisch effizienter betrieben werden.

Diese Vorschläge wurden fünf Experten vorgelegt. In einem strukturierten Telefoninterview wurden die Rückmeldungen pro Experte zu den Vorschlägen und allfällige Ergänzungen aufgenommen. Die Experten wurden so ausgewählt, dass sie einen breiten Erfahrungshintergrund in Bezug auf die verschiedenen Aspekte der vorgeschlagenen Massnahmen und der Fragestellungen abdecken.

Die Massnahmenvorschläge wurden auf Grund der Inputs aus den fünf Interviews angepasst. Die bereinigten Vorschläge finden sich im Kapitel 5.3 «Massnahmen zur besseren Realisierung der Sparpotenziale».

5.2 Beigezogene Experten

Name	Organisation/Funktion	Begründung
Stefan Peterhans	Geschäftsführer Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS	Vertritt die Sicht der Wärmepumpentechnologie
Gerhard Potetz	Schweizerischer Fachverband der Hauswarte SFH	Vertritt die Zielgruppe der Massnahmen betreffend Hauswarte/innen
Erwin Röthlisberger	AIT, Betrieb und Wartung, WP-Hersteller mit eigenem Service	Vertritt die Sicht der Service-Verantwortlichen
Martin Stalder	Ingenieurbüro für Energietechnik und Informatik	Vertritt die Sicht der Fachperson für energetische Betriebsoptimierungen
Beat Stemmler	ISS Facility Services AG, Leiter Excellence Center Sustainability & Energy	Vertritt die Sicht der Facility-Management- und Immobilienverwaltungsanbieter

Tabelle 22: Gesprächspartner für die Experteninterviews

Die Telefoninterviews fanden im Februar und März 2018 statt und dauerten zwischen 35 und 60 Minuten.



5.3 Massnahmen zur besseren Realisierung der Sparpotenziale

Forschungsfrage 4: Welche Massnahmen können zur Realisierung von Sparpotenzialen durch optimierte Betriebseinstellungen bei Wärmepumpen und Zusatzaggregaten führen?

In den nachfolgenden Kapiteln werden Handlungsansätze vorgeschlagen, wie die erkannten Energiesparpotenziale bei Wärmepumpen-Anlagen in Mehrfamilienhäusern realisiert werden könnten. Es sind einerseits Handlungsansätze, die generell zu besser eingestellten Anlagen führen sollten, andererseits Ansätze, welche die konkret vorgefundenen Fehleinstellungen einzeln angehen. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ansätze unterteilt in folgende Massnahmentypen:

- Information und Sensibilisierung der Gebäudeeigentümerschaften u. a. zur Verbesserung der Bestellerkompetenz
- Verpflichtung der Planenden über standardisierte Verträge
- Aktivierung und Support der Hauswarte/innen
- Verständigung mit Lieferanten- und Herstellerbranche
- Normen, Gesetze, Vorschriften
- Technische Massnahmen
- Anreizsysteme und Förderprogramme
- Neue Geschäftsmodelle

Bei den Massnahmen geht es vor allem darum, die am häufigsten vorgefundenen Fehleinstellungen zu eliminieren. Das waren zu steil eingestellte Heizkurven, die zu unnötig hohen Vorlauftemperaturen führen, zu hohe Heizgrenzen und energetisch suboptimal eingesetzte Elektroheizeinsätze.

Die Massnahmen werden schliesslich in der Tabelle 23: Übersicht Massnahmenvorschläge mit Priorisierung durch das Projektteam» im Kapitel 6.2 zusammengefasst und durch das Projektteam bezüglich energetischer Relevanz, Handlungsspielraum der öffentlichen Hand und einer Priorisierungsempfehlung bewertet.

5.3.1 Information und Sensibilisierung Gebäudeeigentümerschaften

Massnahme 1: Bestellerkompetenz der Gebäudeeigentümerschaften/ Bauherrschaften gegenüber Planenden fördern

- a. Bekanntmachung und bessere Zugänglichkeit von **bestehenden** Hilfsmitteln, insbesondere der «Leistungsgarantie Haustechnik» (darin findet sich ab S. 35 die Leis-



tungsgarantie Wärmepumpe), der LEISTUNGS-GARANTIE-Karte¹⁵ oder auch von Tipps wie auf www.erdsondenoptimierung.ch. Diese Hilfsmittel würden die Eigentümerschaften bei der «Bestellung» einer abgestimmten Anlage und eines energieoptimierten Wärmepumpen-Betriebs unterstützen.

- b. Ergänzung der LEISTUNGS-GARANTIE-Karte¹⁶ um Ausführungen dazu, was «Einregulierung» bedeutet: sie müsste die Begleitung über eine Heizperiode umfassen. Zudem Ergänzung der Karte um den Punkt, dass die Planenden verpflichtet sind, das Inbetriebnahme-Protokoll zu prüfen und sich bei Abweichungen zur Planung einzuschalten. Es soll geprüft werden, ob die Leistungsgarantie ergänzt um die obigen Punkte in einen SIA-Standardvertrag zur Bestellung von Wärmepumpenanlagen überführt werden soll (vgl. Massnahme 5).
- c. Es braucht eine Sensibilisierung der Bauherrschaften, dass die Anlage spätestens zwei Jahre nach der Inbetriebnahme nochmals richtig eingestellt werden sollte. Innerhalb des Wärmepumpen-Systemmoduls wäre das sogar eine Bedingung, wichtig wäre es jedoch bei allen Anlagen.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Die Leistungsgarantie Wärmepumpe sei ein ideales Instrument, um energetisch gut eingestellte Anlagen zu fördern. Sie werde jedoch gemäss dem Experten zu wenig genutzt. Die Recherchen des Projektteams zeigten auch, dass sie online schwierig zu finden ist, dass es zu viele Versionen auf dem Netz gibt und dass die meisten Versionen gleich die gesamte Haustechnik umfassen. Ein einfacher Zugang zu diesem Instrument nur für die Wärmepumpen ist nicht gegeben. Es gibt zwar eine Auskoppelung der Checkliste für Wärmepumpenanlage auf der so genannten LEISTUNGS-GARANTIE-Karte¹⁷, diese ist jedoch online nicht einfach auffindbar. Zudem müsste die Anwendung der Leistungsgarantie-Checkliste verständlicher dargestellt werden – wie das auf der Auskoppelung der Fall ist –, z. B. dass bei der Leistungsgarantie alle Punkte mit «ja» bestätigt und effektiv ausgeführt sein müssen und dass es diese Vollerfüllung ist, die die Bauherrschaft einfordern sollte. Zudem ist gerade der Punkt «Einregulierung» auf der LEISTUNGS-GARANTIE-Karte nicht ausgeführt. Es wird nicht geklärt, inwiefern eine Einregulierung über die Inbetriebnahme hinausgeht.

Damit eine höchstens durchschnittlich interessierte Bauherr- oder Eigentümerschaft die Aufmerksamkeit auf etwas Technisches wie eine Leistungsgarantie lenke, brauche es gemäss Experten einen «eye-catcher». Das wäre z. B. ein deutlicher Hinweis auf mögliche Kostenersparnisse oder der Hinweis, dass man so böse Überraschungen vermeide. Allerdings wird von den Experten eingeschränkt, dass die wenigsten Eigentümerschaften

¹⁵ BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern, Bestellnummer 805.067.3 d. Doppelseitiger Auszug aus der Leistungsgarantie Haustechnik zum Bestellen von Wärmepumpen.

¹⁶ ebd

¹⁷ ebd



sich für den Anlagebetrieb interessierten, weil die Nebenkosten auf die Mietenden abgewälzt werden (vgl. Massnahme 16). Deshalb wäre es besser, die Energiepolitik aber auch die Eigentümerschaften könnten sich auf die Planenden verlassen – ohne dass spezielle Bestellerkompetenzen notwendig wären (vgl. Massnahme 5).

Es sei zentral, dass die Planer involviert und sensibilisiert seien und bei Bedarf fachliche Unterstützungen erhalten. Die Motivation der Planenden, eine Anlage über die Bauphase hinaus zu begleiten, sei jedoch gemäss Beobachtung einer der Experten gering. Es müsse jedoch gelingen, die Planer möglichst lange in die Pflicht zu nehmen. Sie sollten umsetzen lassen, was geplant war und auch kontrollieren, ob es wie geplant funktioniert. Es sei wichtig, klare Vorgaben zu machen, worin die Nachkontrolle bestehen soll und was optimiert werden muss.

Von einem Experten wird darauf hingewiesen, dass die Installateure oft darauf verzichten, die Nachkontrolle zu offerieren – obwohl das Wärmepumpen-Systemmodul eine solche verlangt. Die Begründung laute, dass die Konkurrenz die Nachkontrolle auch nicht in die Offerte nehme, was zu einem Wettbewerbsnachteil führen könne. Wenn sich die Eigentümerschaft nach zwei Jahren nicht selbst melde, werde die Einregulierung nach Einschätzung eines Experten oft unterlassen. Eigentlich müsste nach Ansicht des Experten die Einregulierung bereits zu Beginn offeriert und verrechnet werden. Die Eigentümerschaft könnte dann mit einem «Gutschein» nach zwei Jahren die Nachkontrolle bestellen. Das System mit dem «Gutschein» wird gemäss Experte jedoch kaum angewandt.

Massnahme 2: Bestellerkompetenz der Eigentümerschaft gegenüber Verwaltung/Hauswartung fördern

- a. Erarbeitung von Hinweisen und Textvorlagen zuhanden der Gebäudeeigentümerschaften, wie im Pflichtenheft der Immobilienverwaltung und/oder der Hauswartung ein minimales Monitoring der Energieeffizienz eingefordert werden kann. z. B. als periodische Kontrolle, ob die Planwerte für gewisse Kennzahlen gemäss «Anlage-Journal» (vgl. Massnahmenvorschlag Nr. 3b) eingehalten werden.
- b. Dazu müsste eine Textvorlage erarbeitet und verbreitet werden, z. B. über den Hauseigentümerversand (HEV) und den Hausverein.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Es sei an der Eigentümerschaft zu definieren, welche Aufgaben die Hauswartung übernehmen soll. Aber es hänge schliesslich auch vom Hauswart/der Hauswartin ab, ob er/sie diesen Aufgaben im technischen Bereich gewachsen sei. Viele Anlagen seien computergesteuert und bedingten ein gewisses Knowhow im Umgang mit solchen Technologien. Grosse Liegenschaftsverwaltungen würden zudem ohnehin ihre eigenen Pflichtenhefte entwickeln.



Es wird auch angemerkt, dass die Kommunikation der Wärmepumpen-Lieferanten generell in die Richtung laufe, dass man den Service anrufen solle, wenn es um die Wärmepumpe gehe. Die Lieferanten möchten scheinbar eher nicht, dass andere an den Anlagen etwas machen. Das sei zumindest auch die Wahrnehmung der Hauswarte/innen, die dadurch beeinflusst würden, wenn keine explizit andere Anweisung von Seiten ihrer eigenen Arbeitgebenden (Gebäudeeigentümerschaft oder Verwaltung) komme.

Massnahme 3: «Selbstdiagnose» und «Anlage-Journal»-Formular

- a. Erstellen und Verbreiten einer einfachen Anleitung «Selbstdiagnose» für Nicht-Fachpersonen. Die Anleitung zeigt, wie man bei einem Wohngebäude mit verschiedenen Eckwerten herausfinden kann, ob der Wärmepumpenbetrieb wahrscheinlich energieeffizient erfolgt oder ob eine vertiefte Analyse angezeigt wäre (z. B. sinnvolle Vorlauftemperatur je nach herrschender Aussentemperatur und je nach Gebäudekategorie, jährlicher zu erwartender Stromverbrauch pro m² je nach Wärmepumpenart, -grösse und Objektgrösse u. ä.). Das Hilfsmittel soll auch Hinweise enthalten, was die idealen Werte sein sollten und mit welchen Massnahmen man versuchen kann, sich ihnen anzunähern. Zudem soll explizit darauf hingewiesen werden, dass die Wärmepumpen-Hersteller in der Regel eine Hotline führen, die einen dabei unterstützt, die notwendigen Parameteranpassungen vorzunehmen (oder Hinweise auf andere Auskunftsstellen vgl. Punkt b). Zielgruppe: private Gebäudeeigentümerschaften, Verwaltungen, Hauswarte.
- b. Prüfen, ob es zielführend ist, eine unabhängige Hotline aufzubauen (z. B. via energo), an die sich Gebäudeverantwortliche bei Fragen zur Einstellung der eigenen Wärmepumpenanlage wenden können. Zu klären ist insbesondere, ob die Hotlines der Hersteller als niederschwelliges Auskunftsangebot ausreichen.
- c. Parallel zur «Selbstdiagnose» wird ein Formular mit den zentralen, in der «Selbstdiagnose» verwendeten Parametern erstellt und als standardisiertes «Anlage-Journal» aufbereitet. Dieses ist durch die Heizungsplanenden auszufüllen und der Betriebsanleitung der Anlage beizulegen. Das «Anlage-Journal» zeigt auch für Nicht-Fachpersonen verständlich, mit welchen Parametern die Anlage gemäss Planung zu betreiben ist. Dabei konzentriert sich das Formular auf die bei einer Betriebsoptimierung verstellbaren Parameter. Zudem soll dasselbe Formular genügend Platz enthalten, damit allfällige spätere oder zwischenzeitliche Parameteranpassungen darauf dokumentiert werden können.
- d. Prüfen der Kanäle, über welche die «Selbstdiagnose» und das «Anlage-Journal» breit gestreut werden können – z. B. über die Lieferanten der Wärmepumpen, die Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz, HEV etc.



Hinweise aus den Expertengesprächen

Vor dem Erstellen einer solchen Anleitung zur «Selbstdiagnose» sei sorgfältig zu klären, wie weit ins Detail man gehen wolle. Eine Verallgemeinerung sei teilweise schwierig. Zudem wird auf die grossen Unterschiede betreffend Aufbau aber vor allem auch betreffend der Begrifflichkeiten in der Steuerung der Anlagen unterschiedlicher Anbieter hingewiesen (vgl. Massnahme 11a). Es sei beispielsweise zu berücksichtigen, dass gewisse Informationen in der Nutzeroberflächen und gewisse in der Ebene für die Fachpersonen vorhanden sind, dass die Verteilung jedoch von Anbieter zu Anbieter unterschiedlich sein könne.

In der «Selbstdiagnose» könne man eine vereinfachte Matrix machen, die je nach Gebäudekategorie aufzeigt, welche Vorlauftemperatur bei welcher Aussentemperatur zu erwarten wäre. Im «Anlage-Journal» sollten die Planenden dann für das konkrete Gebäude zu Beginn eine Matrix mit den entsprechenden Werten erstellen. Mit dieser könnte z. B. der/die Hauswart/in bei jeder Aussentemperatur kontrollieren, ob die Wärmepumpe nach Plan läuft.

Massnahme 4: Sensibilisierung für die Problemstellungen nach der Erneuerung

— Systematische Information der Eigentümerschaften, die Gelder aus dem Gebäudeprogramm erhalten haben, dass nach einer Gebäudehüllensanierung die Heizung neu eingestellt werden muss. Die Information muss konkrete Handlungsempfehlungen enthalten, z. B. Adressen von zertifizierten Anbietern und beispielsweise den Hinweis auf die «Selbstdiagnose» (vgl. Massnahme 3a).

Hinweise aus den Expertengesprächen

Damit die Eigentümerschaften aktiv werden können, sei es wichtig, mit dem Hinweis auf die Problemstellung auch die Kontakte für die Lösung bereitzustellen. Idealerweise sollten zertifizierte Anbieter in einer Datenbank erfasst werden, in welcher man nach Region die lokalen Anbieter findet.

Um die Umsetzung der Empfehlung zur Neueinstellung der alten Heizung zu verbessern, wurde auch vorgeschlagen, die Gebäudeprogramm-Gelder teilweise abhängig davon zu machen, dass die notwendigen Anpassungen an der Heizung umgesetzt wurden. Ein Restbetrag des Förderbetrags würde erst ausbezahlt, wenn der Nachweis erbracht ist, dass man die Heizungseinstellungen kontrolliert und bei Bedarf neu eingestellt hat. Weil diese zweistufige Förderung zwei verschiedene Themen miteinander vermischt und weil sie zudem einen relativ hohen administrativen Aufwand generiert, hat das Projektteam diesen Vorschlag jedoch im Gegensatz zur Sensibilisierung nicht in die Massnahmenliste aufgenommen.



5.3.2 Standardisierte Planerverträge

Massnahme 5: Norm-Aufträge bzw. Norm-Verträge für Planende

- Prüfen, ob in Ergänzung der Leistungsgarantie von den zuständigen Verbänden ein Norm-Vertrag für die Planung von Wärmepumpenanlagen ausgearbeitet werden soll. Der Normvertrag für die Anlageplanenden sollte die Begleitung der Anlage bis in den einregulierten Betrieb sichern und verhindern, dass z. B. Inbetriebnahme-Protokolle nicht geprüft und Informationen aus der Planung nicht in den Betrieb weitergegeben werden.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Vgl. Hinweise zu Massnahme 1.

5.3.3 Aktivierung der Hauswarte/innen

Das Projektteam verspricht sich energetische Wirkung von der Aktivierung der Hauswarte/innen. Sie sind regelmässig vor Ort, könnten die Anlage mit geringem Zusatzaufwand einregulieren und dabei die Rückmeldungen der Bewohnenden berücksichtigen. Das Projektteam geht davon aus, dass es sich lohnen würde, neue Ansätze mit den Hauswarten/innen im Zentrum vertiefter zu untersuchen bzw. auszuprobieren.

Massnahme 6: Kommunikationskampagne mit Zielgruppe Hauswarte/innen und selbstverwaltende Eigentümerschaften

Kommunikationskampagne über den Schweizerischen Fachverband der Hauswarte und den Berufsverband ausgebildeter Hauswarte an ihre Mitglieder und über den Hauseigentümerverband (HEV Schweiz oder regionale Sektionen) zuhanden von Personen, die ihr eigenes Mehrfamilienhaus betreuen.

- a. Grundsätzliche Sensibilisierung der Verantwortlichen für den Wert der Dokumentation und der Überprüfung von Einstellungen, gemessenen und beobachteten Parametern (wie Schalthäufigkeit) und Bewohnenden-Rückmeldungen (-> «was wurde angepasst und weshalb»). Die Dokumentation ermöglicht es später beigezogenen Fachpersonen, Gebäude- und das Anlageverhalten schnell nachzuvollziehen.
- b. Verbreitung der «Selbstdiagnose» (vgl. Massnahme 3a) (Anleitung, welche Parameter relevant sind und welche regelmässig erhoben werden sollten. Wo die idealen Werte liegen, wie man sich ihnen annähern kann und dass die Wärmepumpen-Hersteller mit ihren Hotlines in der Regel unterstützen).
- c. Vertiefung zur «Selbstdiagnose»: Merkblatt zur energetischen Betriebsoptimierung von Wärmepumpenanlagen: welche Parameter müssen über wie lange Zeit erhoben werden, wo beginnt man mit der Einregulierung, was macht man bei Reklamationen (adäquate Reaktion und Checkliste zum Vorgehen), welche Aufgaben haben die Service-Anbieter, auf was muss man beim Abschluss von Serviceverträgen achten, wo



erhält man konkrete Hilfestellungen, wenn man selbst einregulieren möchte, welche Drittangebote gibt es. Allenfalls Erstellen eines Info-Blatts zum richtigen Nutzerverhalten, das die Hauswarte/innen an die Bewohnenden verteilen können.

- d. Periodisch Artikel im Publikationsorgan des HEV platzieren zum energetisch optimierten Betrieb von Wärmepumpen- und anderen Heizungen und der Warmwasser-Produktion.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Zusätzliche Sensibilisierungsaktionen werden von den Experten zwar als sehr wichtig erachtet. Der/die Hauswart/in oder bei privaten Mehrfamilienhäusern die zuständige Eigentümerschaft seien die einzigen Instanzen, die regelmässig vor Ort sind. Dennoch wird darauf hingewiesen, dass der Hauswart vor Ort oft nur die Situation verfolge. Wenn etwas verstellt werden soll, werde der Service gerufen. Denn der/die Hauswart/in kümmere sich oft nicht um die gebäudetechnischen Anlagen sondern eher um die Entsorgung, Reinigung etc. Die Experten beurteilen es z. T. kritisch, ob die Hauswarte/innen mehr Verantwortung für die Anlagen übernehmen könnten.

Das Monitoring der Anlage sei jedoch bei den Hauswarten/innen richtig platziert. Denn auf Grund ihrer Ausbildung sollten sie ein Basisverständnis für die Anlagen haben. Laut Verbandsvertreter müsste jemand, der/die sich Hauswart/in nennt, den entsprechenden Fachausweis haben. Wenn das der Fall ist, habe die Person bereits einmal Kontakt mit den Themen Energie, Energiesparen und Wärmepumpen gehabt. Es würde dann nur noch eine Sensibilisierung brauchen dafür, welche Parameter zu erheben sind und wie man sie interpretiert, z. B. zur Schaltheufigkeit, ihren Zusammenhängen und Sollwerten. Dann könne der/die Hauswart/in bei Bedarf reagieren. Aus Sicht der Experten würde aber «reagieren» in den meisten Fällen bedeuten, dass der Service kontaktiert werde.

Im Fokus der Sensibilisierung sollten die kleineren Hauswartungs-Anbieter, die selbständigen oder die selbst verwaltenden Hauswartungen bzw. Verwaltungen stehen. Der HEV und die Fachverbände der Hauswarte seien sinnvolle Multiplikatoren. Allenfalls seien weitere Fachzeitschriften ebenfalls zu berücksichtigen.

Bei der Kommunikationskampagne für Hauswarte solle man nicht nur Hinweise auf die Heizkurve machen, sondern auch anregen, dass die Hauswarte die Mieter sensibilisieren, beispielsweise für die Funktion des Thermostats. Es komme regelmässig vor, dass bei Wärmepumpenanlagen wegen Reklamationen die Vorlauftemperatur erhöht werde, dabei liege das Problem in nicht-geöffneten und vergessenen Thermostaten in den Wohnungen. Die Sensibilisierung solle auch darauf hinarbeiten, dass Kippfenster vermieden werden. Stattdessen sollten die Mietenden eine Rückmeldung über zu hohe Raumtemperaturen machen. Für diese Bewohnenden-Information sollte im Rahmen der Kampagne eine Handoutvorlage zur Verfügung gestellt werden.



Der Vertreter der Wärmepumpen-Hersteller und Lieferanten weist darauf hin, dass die Publikation von Artikeln zum Heizen sorgfältig terminiert werden sollte und idealerweise mit den grossen Anbietern abgesprochen werde. Die Heizsaison sei generell für Heizungs-Lieferanten, Service-Anbieter und Installateure/innen eine sehr auftragsintensive Zeit. Ein Aufruf im Organ des HEV oder ähnlich kann eine Flut von Kontaktnahmen zur Folge haben, die dann nicht in adäquater Frist zu bewältigen seien.

Massnahme 7: Image, Aus- und Weiterbildung Hauswarte/innen

In Ergänzung zur Kommunikationskampagne (vgl. den Massnahmen Nr. 6a bis d)

- a. Image-Kampagne zur Stärkung des technischen Profils von Hauswarten/innen zusammen mit dem Fachverband der Hauswarte. Botschaft: Der/die Hauswart/in ist ein/e vielseitige/r Praktiker/in, der/die auch Heizungs- und Lüftungsanlagen warten und optimal einstellen kann.
- b. Zusammenarbeit mit den Ausbildungsträgern (u. a. Fachverbände der Hauswarte) für die Stärkung des technischen Anlageknowhows in der Aus- und Weiterbildung.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Es wird darauf hingewiesen, dass man die Kräfte bei den Hauswartausbildungen bündeln könnte und sollte. Es wird u. a. auf die Hauswarte-Kurse im Rahmen von Energiestadt hingewiesen. Bei diesen Kursen liege der Fokus auf Hauswarten in öffentlichen Bauten. Das Energiestadt-Angebot könnte näher an das Aus- und Weiterbildungsangebot der klassischen Kanäle der Verbände herangebracht werden. Auch das Forum Energie Zürich ist am Aufbau eines Kurses für die Inbetriebnahme von Wärmepumpenanlagen, der sich an Hauswarte richtet.

Die Hauswart-Ausbildung der Fachverbände sei dezentral nach Region organisiert. An den verschiedenen Schulen (z. B. in Wetzikon, Lenzburg, Buchs, St. Gallen und Bern) gebe es Kurse, mit welchen man sich auf die Prüfung zum Hauswart vorbereite.

Die Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS) hat ebenfalls ein grosses Weiterbildungsangebot und Weiterbildungserfahrung. Bisher waren die Hauswarte nicht Zielgruppe der FWS-Weiterbildungen. Die FWS könne sich aber vorstellen, das zu ändern oder Kooperationen mit den Anbietern von Weiterbildungen für Hauswarte einzugehen, um dort den fachlich-technischen Bereich zu Wärmepumpen abzudecken.

Bezüglich des Zielpublikums sei zu berücksichtigen, dass sich private Gebäudeeigentümerschaften selten eine/n ausgebildete/n Hauswart/in leisten würden. Dafür werden insbesondere grössere Genossenschaften mit eigenen Hauswarten/innen als gute Adressaten für Hauswart-Weiterbildung gesehen.



Generelle Hinweise zur Aus- und Weiterbildung von Hauswarten

Bevor man Hauswart/in werden kann, muss man einen Beruf haben und zwei Jahre als Hauswart/in arbeiten. Anschliessend kann man sich zur Prüfung anmelden. Für die Prüfung muss man den Vorbereitungskurs absolvieren. Mit der Prüfung erwirbt man sich den eidgenössischen Fachausweis für Hauswarte. Die Gewerbeschule Wetzikon beispielsweise bilde rund 50 Hauswarte pro Jahr aus. Die nächste Stufe sei dann das Diplom als Hausmeister. Das ist eine Höhere Fachprüfung (Hausmeister mit eidg. Diplom).

Die verschiedenen Sektionen des Hauswartverbands bieten jährlich unterschiedliche Weiterbildungskurse an. Die Kurse werden oft von den Arbeitgebenden der Hauswarte/innen bezahlt. Teilweise bieten auch externe Firmen die Kurse für die Sektionen des Hauswartverbands an.

Es gibt zwei Verbände: Schweizerischen Fachverband der Hauswarte SFH und den Berufsverband ausgebildeter Hauswarte BAH. Sie arbeiten eng zusammen, auch betreffend Weiterbildung. Die Weiterbildung werde allerdings regional organisiert.

Massnahme 8: Pilotprojekt mit grosser Verwaltung als Arbeitgeberin von Hauswarten/innen

Für das Pilotprojekt muss eine grössere Immobilienverwaltung oder eine grössere Eigentümerschaft zur Teilnahme am Pilotprojekt motiviert werden. Argumente dafür sind die Profilierung als ökologisch fortschrittlicher Anbieter von Dienstleistungen oder Wohnraum, das Job-Enrichment für die eigenen Hauswarte/innen. Bei Genossenschaften können die Energieeinsparungen für die eigenen Genossenschafter/innen zur Teilnahme motivieren. Das Pilotprojekt würde sich aus folgenden Teilen zusammensetzen:

- Der/die Arbeitgeber/in macht beim Pilotprojekt mit und motiviert die eigenen Hauswarte/innen zur Teilnahme.
- Startschulung: ca. drei Stunden Schulung für alle teilnehmenden Hauswarte/innen an einer oder mehreren konkreten Anlagen. Inhalte u. a: welche Parameter sind zu erheben, wie dokumentieren in Abhängigkeit der vorhandenen Messinstrumenten etc.
- Mehrere Hauswarte werden von einem Coach (z. B. energo-Ingenieur oder einem Techniker ihres Wärmepumpenlieferanten) betreut: Er kann telefonisch mit Fragen kontaktiert werden. Er erinnert «seine» Hauswarte/innen proaktiv an die periodisch zu erhebenden Daten oder daran, dass nochmals nachjustiert wird.
- Telefonberatung durch den Coach nach Bedarf.
- Erfahrungsaustausch der teilnehmenden Hauswarte
- Laufzeit: 1-2 Jahre (im ersten Teil: Schulung und Erheben der relevanten Information, im zweiten Teil: sukzessive Einregulierung).



Aktuell wird von Forum Energie Zürich ein Projekt mit ähnlichem Ansatz für die Schulung von Hauswarten anlässlich der Inbetriebnahme von neuen Anlagen (Wärmepumpen aber auch andere Heizsysteme) aufgebaut. Der Kurs soll bei einem/r der teilnehmenden Hauswarte/innen stattfinden, teilnehmen sollen aber auch noch andere Hauswarte/innen¹⁸.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Die konkrete Begleitung der Hauswarte/innen wird begrüsst als ein Ansatz, wie die Hauswarte/innen befähigt werden können, in ihrem Handlungsspielraum das Optimum zu erreichen. Zudem gehen die Experten davon aus, dass die Hauswarte/innen am besten über die Arbeitgeber/innen erreicht werden können. Es wird angeregt, dass bei der Schulung über die konkrete Anlage hinaus die wichtigsten Hersteller und Systeme vorgestellt werden. Dadurch können auch die anderen anwesenden Hauswarte mit anderen Systemen mehr profitieren.

Die Schulung vor Ort und auf konkreten Anlagen sei jedoch wichtig, wie die Erfahrungen aus den Hauswartkursen von Energiestadt zeigen würden. Die Schulung müsse praktisch sein, mit Theorie werde diese Zielgruppe kaum erreicht.

Es wird darauf hingewiesen, dass sich die Schulung und das anschliessende Coaching nicht nur mit dem Technischen befassen sollte. Zentral sei auch der Umgang mit Reklamationen. Gerade wegen den zu erwartenden Reklamationen brauche es für die energetische Betriebsoptimierung unbedingt die Rückendeckung der Verwaltung und allenfalls der Eigentümerschaft.

Massnahme 9: Neues Label für nachhaltiges FM oder nachhaltige Hauswartung

— Aufbau einer nationalen Zertifizierung wie «Green»-Facility-Management oder «Nachhaltige Hauswartung» o. ä. bei welcher die energetische Betriebsoptimierung einen hohen Stellenwert hat. Dazu braucht es jedoch vorgängig Abklärungen zum Interesse der relevanten Fachverbände (insb. SVIT und IFMA).

Hinweise aus den Expertengesprächen

Ein Label könnte nach Einschätzung der Experten etwas Dynamik in den Anbietermarkt bringen. Bisher seien die Energie und die energetische Betriebsoptimierung kaum ein Thema bei den Immobilienbewirtschaftenden und FM-Firmen. Im Vorfeld wäre sorgfältig zu prüfen, welche Themen das Label umfassen soll. Beispielsweise gehe es bei der Leeds-Zertifizierung auch um Reinigungsmittel und ihren Einsatz. Das müsste allenfalls ebenfalls berücksichtigt werden. Der Experte hat den Eindruck, dass sich Firmen, die sich um solche Themen kümmern, damit auf dem Markt erfolgreich positionieren könnten.

¹⁸ <https://www.forumenergie.ch/kurse/inhouse-schulung> (Stand 29.1.2018): Das Angebot für Inhouse-Schulungen für eine energieeffiziente und mängelfreie Inbetriebnahme von Objekten richtet sich insbesondere an FM-Firmen, Genossenschaften, Verwaltungen und weitere Organisationen. Die ersten Kurse starten im Mai 2018.



Für den Aufbau eines Labels im Bereich FM und Hauswartung wären die Branchenverbände IFMA und SVIT die wichtigsten Ansprechstellen für Konzeption und Verbreitung. Zudem wird darauf hingewiesen, dass man die Arbeiten berücksichtigen müsste, die bereits an den Fachhochschulen, z. B. an der ZHAW zu Bausteinen von FM-Verträgen, laufen. Es werden jedoch auch Vorbehalte angemeldet, weil bei neuen Labels immer Vorsicht geboten sei. Denn mit einem Zertifikat sei das Problem nicht gelöst. Es brauche dabei auch Kontrollen und/oder Wiederholungskurse, eine Rezertifizierung etc.

5.3.4 Verständigung mit Lieferanten- und Herstellerbranche

Massnahme 10: Diskussion von Garantien und Zuständigkeiten mit WP-Herstellern

In gewissen Serviceverträgen ist eine Klausel enthalten, dass die Verantwortung des Anbieters bezüglich Garantieleistungen erlischt, sobald jemand anders Einstellungen an der Anlage ändert. Damit wird eine Betriebsoptimierung durch den Hauswart unterbunden. Zudem ist oft der Service der Wärmepumpe nur für die Wärmepumpe, nicht jedoch beispielsweise für den Elektroheizeinsatz zuständig – der wird durch den Sanitär verantwortet. Diese Aufteilung verhindert einen abgestimmten Anlagebetrieb.

- a. Die Verantwortlichkeiten in der Betriebsphase sollten im Austausch mit allen Beteiligten bzw. ihren Branchenvertretern neu ausgehandelt werden. Ziel dieser Diskussion müsste es sein, dass in Zukunft bei jeder Anlage alle Beteiligten inklusive der Eigentümerschaft wissen, wer für welche Aspekte zuständig ist. So soll auch verhindert werden, dass im Fall von Unregelmässigkeiten die Verantwortung von einem Beteiligten zum nächsten weitergeschoben wird.
- b. In diesem Zusammenhang müsste auch die Frage des energieeffizienten Anlagebetriebs aufgeworfen werden. Es muss geklärt werden, wer dafür zuständig ist. Konkret müsste eine einzige Person periodisch die Effizienz der Gesamtanlage prüfen und dazu bei Bedarf von den anderen Beteiligten die notwendigen Datengrundlagen erhalten.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Die Experten bestätigen, dass oft ein Service-Vertrag mit dem Wärmepumpen-Hersteller besteht, auch wenn die Wärmepumpe vom lokalen Installateur/in installiert wurde. Auch wenn nicht explizit im Vertrag stehe, dass nur das Service-Personal Einstellungen ändern darf, so würden die Service-Firmen die Haltung vermitteln, dass man ihnen die Anlageeinstellungen überlassen solle. Meistens dürfen die Nutzenden grundsätzlich in der Nutzeroberflächen Einstellungen ändern, nicht jedoch in der darunter liegenden Steuerungsebene. Was jedoch in der Nutzeroberfläche und was in tieferen Ebenen angesiedelt ist, variiere von Hersteller zu Hersteller (vgl. Massnahme 11b).

Es gibt Hersteller, die die Anlagebetreuenden telefonisch bei Bedarf dabei unterstützen, auch in der Steuerungsebene Anpassungen an der Anlage vorzunehmen. Es könnte ein



vielversprechender Ansatz sein, diese Dienstleistung bei den Herstellern auszubauen. Dazu gehört auch das Fern-Monitoring der Anlage über Online-Schnittstellen.

Massnahme 11: Verständigung über Begrifflichkeiten und Vereinfachung mit den WP-Herstellern

- a. Wärmepumpenanlagen sind komplex und auch deshalb anspruchsvoll, weil jeder Hersteller andere Begriffe und andere Steuerungen verwendet. Es soll im Austausch mit den Herstellern eine Verständigungsnorm angestrebt werden, damit mindestens die grossen Wärmepumpen-Herstellern für ihre Anlagen dieselben Begrifflichkeiten und Darstellungen verwenden.
- b. Anzustreben wäre auch eine koordinierte Festlegung, was über die Nutzeroberfläche verändert werden kann und was in der Steuerungsebene – und damit in der Regel nicht zugänglich – angesiedelt wird. Ziel müsste sein, dass die wichtigen Anlageparameter und Steuerungselemente für einen energieoptimierten Betrieb, der auf die Anforderungen der Nutzenden reagieren können muss, in der Nutzeroberfläche angesiedelt sind.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Ein Experte merkte an, dass die Benutzerfreundlichkeit bei gewissen Herstellern sehr mangelhaft sei. Gerade wenn auch die Verantwortlichen vor Ort eine Anlage begleiten können sollen, brauche es dort eine Vereinfachung und eine Vereinheitlichung zwischen den Anbietern. Wenn alle Wärmepumpen-Hersteller die wichtigsten Eckdaten der Anlagen gleich bezeichnen, erfassen und herausgeben würden, könnten die Daten mit viel weniger Aufwand interpretiert werden. Das würde die Diagnose auch für Fachpersonen erleichtern und damit den energieeffizienten Betrieb fördern.

5.3.5 Normen, Gesetze, Vorschriften

Massnahme 12: Norm SIA 385/1 nicht verschärfen ohne gesicherte Erkenntnisse

- a. Die Erkenntnisse aus der gesichteten Literatur und den Gesprächen im Verlauf des Projekts lassen vermuten, dass aus hygienischer Sicht kein Druck für eine Verschärfung der Norm SIA 385/1 (Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden - Grundlagen und Anforderungen) besteht. Wir empfehlen, die Anpassung der Norm SIA 385 in Bezug auf die Warmwassertemperaturen vor diesem Hintergrund nochmals zu erwägen bzw. nur im Fall von gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen zu verschärfen.
- b. Die Erkenntnisse aus der Literatur und die Ergebnisse der Beprobung von acht Liegenschaften auf Legionellen zeigten vor allem, dass es bezüglich des Zusammenhangs von Warmwassertemperaturen, Warmhaltesystemen und Legionellenkontami-



nation noch einigen Forschungsbedarf gibt. Wir empfehlen diese Aspekte vertieft und gezielt wissenschaftlich untersuchen zu lassen.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Ein Experte weist darauf hin, dass eine verstärkte Kalkablagerung bei höheren Temperaturen – im SIA-Norm-Entwurf vorgesehen sind ständig 60° – das Legionellenproblem noch verschärfen könnte. In Kalkablagerungen können sich Legionellen besser einnisten. Ein anderer Experte erläutert, dass sich die Industrie gegen Verschärfungen wehren wird, solange keine empirischen Nachweise für den Zusammenhang von Warmwassertemperaturen im Speicher von unter 60°, dem Einfluss von Ausstossleitungen (Duschschläuche etc.) und Legionellenbelastung vorliegen.

Ein dritter Vertreter sagt, für die Hersteller und Lieferanten sei es vor allem wichtig, dass es eine einheitliche (Sprach-)Regelung betreffend Legionellen von allen involvierten öffentlichen Stellen gebe, d. h. vor allem vom Bundesamt für Energie und vom Bundesamt für Gesundheit aber auch vom Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen, weil Wasser als Lebensmittel gilt. Die Anbieter müssten wissen, was die Vorgaben sind. Es sei klar, dass die Anbieter auf der sicheren Seite sein wollen, um rechtliche Schwierigkeiten zu vermeiden. Im Zweifelsfall komme dabei die Energieoptimierung zu kurz, weil die Sicherheit höher priorisiert werde.

Massnahme 13: Falls SIA 385/1 verschärft wird: zusätzliche Vorgaben im Vollzug

- a. Falls SIA 385/1 verschärft wird, sollen die Kantone in den Vollzugsverordnungen verlangen, dass z. B. nur noch Wärmepumpen installiert werden, die 60° mit vertretbarer Jahresarbeitszahl erreichen. Elektroheizeinsätze für die Nacherwärmung müssten verboten werden oder es wird eine optimale Einbindung in die Steuerung verlangt.
- b. Zudem müssten Bestandesanlagen, die diese Vorgaben noch nicht erfüllen, explizit von der verschärften Norm entbunden werden.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Die Experten meinen, dass bei ständig 60° immer elektrisch nachgeheizt werden müsse. Die Wärmepumpentechnik der Industrie sei momentan noch nicht so weit, dass ständig 60° mit guter Jahresarbeitszahl erreicht werden können (vgl. dazu auch Kapitel 3.3.4). Das habe auch damit zu tun, dass gleichzeitig neue Kältemittel mit tieferem GWP (global warming potential = Treibhauspotenzial) eingesetzt werden müssen, für die neue Komponenten wie z. B. der Verdichter noch entwickelt werden müssen.

Massnahme 14: Vorschrift für auslesbare Messdaten



- Für die nächste Überarbeitung der Energiegesetzgebung: Es sollte vorgeschrieben werden, dass alle Wärmepumpen ab einer bestimmten Grösse (z. B. ab 20 kW Leistung) über adäquate Messeinrichtungen bezüglich des Stromverbrauchs der Wärmepumpe und des Elektroeinsatzes und über einen Wärmezähler verfügen, damit die Jahresarbeitszahl der Anlagen einfacher ermittelt und verfolgt werden kann. Allenfalls kann es sich auch um bereits heute integrierte, nicht geeichte Messungen handeln, die sichtbar zu machen wären.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Die Experten sind der Meinung, dass heute bei fast allen Wärmepumpen eigentlich schon Messungen für Wärme integriert sind. Bisher kann diese Informationen aber nur der Hersteller auslesen. Hintergrund dafür ist u. a, dass es sich nicht um geeichte Instrumente handelt. Es dürften damit also keine Mieterabrechnungen erstellt werden.

Die Experten sind jedoch der Meinung, dass für die energetische Beurteilung der Anlage keine geeichten Instrumente notwendig wären. Auch Messungen mit plus/minus 5% Abweichungen würden Hinweise auf Optimierungspotenzial geben. Ein Experte weist jedoch darauf hin, dass Wärmezähler mit der Zeit ungenauer würden. Dies sei bei magnetisch-induktiven Zählern etwas weniger der Fall als bei Ultraschall-Durchflussmessern. Wenn man Wärmezähler und Stromzähler bei geförderten Wärmepumpen verlangen würde, müsste man diesbezüglich allenfalls gewisse Vorgaben machen.

Es wird jedoch auch gewarnt vor den höheren Kosten von Messinstrumenten und deren Installation inkl. Verkabelung.

Die Experten würden es begrüssen, wenn mit entsprechenden Vorgaben das Monitoring der Anlagen insbesondere bzgl. der Jahresarbeitszahl erleichtert würde. Die Zusatzheizungen müssten jedoch unbedingt ebenfalls beobachtet werden können. Bei diesen würden jedoch auch die Betriebsstunden als auswertbare Information reichen, weil ein Heizstab in der Regel eine konstante Leistung aufweise. Man sollte prüfen, was man bereits mit den bestehenden, von den Herstellern integrierten Steuerungen und Regelungen machen könne. Allenfalls seien bereits Sensoren vorhanden, die nur besser auslesbar gemacht werden müssten – auch für die Nutzenden, nicht nur für die Herstellerfirmen.

Massnahme 15: Präzise Inbetriebnahme-Vorgaben

- Die Inbetriebnahme einer neuen Wärmepumpen-Anlage ist zentral, weil es später sehr viel braucht, dass Anlagenparameter geändert werden. Deshalb muss es konkrete Inbetriebnahme-Vorgaben geben, das gilt auch für das Wärmepumpen-System-Modul und es gilt vor allem auch für die Fälle, in welchem die Heizung zuerst noch für die Bauaustrocknung eingestellt wird. Es soll keine Wärmepumpen mehr geben, die unbesehen mit Werkseinstellungen laufen. Zudem darf der Vorlauf bei -8° Aussen-



temperatur die Vorgaben gemäss MuKE 2008 nicht übersteigen: 35° C bei Fussbodenheizung, 50° C bei Radiatoren.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Die Experten sind der Meinung, dass die Wärmepumpen-Planenden – insbesondere wenn die Planung der Installateur macht – bereits in der Planung besser informiert und sensibilisiert werden müssten. Oft würden Schwachstellen übersehen, die dann dazu führen, dass die angestrebten 30° Vorlauf nicht eingehalten werden können. Als Beispiel werden grosse Fenster im Wohnzimmer genannt oder die kleinen Bodenflächen im Bad.

Die Leistungsgarantie Haustechnik (EnergieSchweiz 2016b) mache relativ präzise Vorgaben zu den geforderten Anlageparametern. Die Leistungsgarantie werde aber beispielsweise nicht explizit im Wärmepumpen-System-Modul erwähnt. Hier könnte sich eine bessere Verbindung der beiden Instrumente lohnen. Im Wärmepumpen-System-Modul werde auch nicht explizit aufgeführt, in Bezug auf welche Parameter das System bei der Nachkontrolle optimiert werden soll.

Problematisch seien Inbetriebnahmen, bei denen man noch die Anforderungen an die Bauaustrocknung berücksichtigt. In der Regel werden solche Inbetriebnahme-Parameter dann nicht mehr für den Regelbetrieb angepasst, obwohl das für einen energieeffizienten Langfristbetrieb notwendig wäre. Hintergrund dafür sei, dass die Service-Techniker Anlagen, bei denen keine Reklamationen vorkommen, grundsätzlich nicht verstellen. Bei einer proaktiven Anpassung riskiere man, dass es deswegen Reklamationen gebe und man die Einstellungen rückgängig machen muss.

Massnahme 16: Aufnahme der Kosten für die energetische Betriebsoptimierung in die Nebenkosten

— Diskussion einer Anpassung der Mietrechts-Verordnung (VMWG): Klärung der Möglichkeit der Überwälzung der Kosten einer energetischen Betriebsoptimierung auf die Nebenkosten unter bestimmten Bedingungen. Anstreben einer diesbezüglichen Verordnungsänderung in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Wohnungswesen, dem MieterInnenverband, HEV evtl. anderen.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Das Mieter-Vermieter-Dilemma sei ein zentrales Problem bei den energetischen Betriebsoptimierungen. Die Experten begrüssen den Vorschlag, weisen aber darauf hin, dass die Ausgestaltung einer entsprechenden Verordnung genau geprüft werden müsse. Beispielsweise sei zu klären, ob und wie die Überwälzung auf mehrere Jahre verteilt werden könne. Denn von der Reduktion der Energiekosten profitierten nicht nur die aktuellen Mietenden sondern auch die, welche im Jahr eins oder zwei nach der Optimierung einziehen.



5.3.6 Technische Massnahmen

Massnahme 17: Bessere Kontrolle des Elektroheizeinsatzes

- a. Der Schaltzustand (EIN/AUS) und die Soll-Temperatur des Elektroheizeinsatzes für das Warmwasser soll klar erkennbarer sein (z.B. Zeitschaltuhr, digitale Temperaturanzeige anstelle von Drehknopf).
- b. Ein Elektroheizeinsatz muss über eine programmierbare Wochen-Zeitschaltuhr verfügen und darf nicht nur direkt über ein Rundsteuersignal des Elektrizitätswerks freigegeben werden. Sonst läuft er unnötig lange.
- c. Es ist wichtig zu vermeiden, dass der Elektroheizeinsatz eingeschaltet wird, bevor die Wärmepumpe die maximal sinnvolle Wassertemperatur erarbeitet hat. Dies betrifft einerseits die richtige Platzierung des Temperaturfühlers und andererseits die Einbindung in die Steuerung.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Ein Experte bestätigt, dass eine Zeitschaltuhr allein das Problem nicht löse. Zusätzlich müsse der Elektroheizeinsatz für die Legionellenschaltung in die Steuerung eingebunden werden. Denn der Elektroheizeinsatz soll erst starten, wenn die Wärmepumpe den Speicher durchgeladen hat. Bei der Notheizung reiche ein Ein-Aus-Schalter, der immer auf Aus steht und nur im Notfall – bei Ausfall der Wärmepumpe – von Hand eingeschaltet wird.

Es wird darauf hingewiesen, dass die richtige Einbindung des Elektroheizeinsatzes ein zentraler Punkt sei und bei jeder Anlage sorgfältig geplant werden müsse.

Massnahme 18: Betriebsoptimierungs-App für verschiedene Systeme

- Entwickeln einer interaktiven Anleitung (z. B. als App für Handys) für die energetische Betriebsoptimierung von Wärmepumpen durch Hauswarte/innen bzw. durch die Verantwortlichen vor Ort: Hinweise auf auszuwertende Parameter und Zielgrössen, Hinweise auf Anpassungsmassnahmen, «Übersetzung» von diversen Steuerungen in allgemeinverständliche Sprache. Die App-Entwicklung muss in Zusammenarbeit mit den grösseren WP-Anbietern erfolgen, um deren Systeme richtig einzubinden.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Für kleinere Anlagen sehen die Experten durchaus Potenzial in einer App. Wegen den verschiedenen Systemen sei jedoch eine Zusammenarbeit mit den WP-Herstellern wichtig. Bei grossen Anlagen, die oft sehr komplex sind, zweifeln die Experten eher an den Möglichkeiten, diese in einem Tool abzubilden. Die Steuerungen solcher Anlagen seien teilweise sogar für das Service-Personal des Herstellers sehr anspruchsvoll. Deshalb



seien sie kaum über ein Tool abzubilden und zudem auch in einem vereinfachenden Tool zu komplex in der Anwendung für Hauswarte/innen.

Die Experten sehen interessante Möglichkeiten in einer App. Beispielsweise könnte diese über die Eingabe bzw. das Abrufen von Vorlauftemperatur und Aussentemperatur die Heizkurve anzeigen und mit den gebäudespezifischen Vorgaben abgleichen.

5.3.7 Anreizsysteme und Förderprogramme

Massnahme 19: Nur noch Fördergelder für WP mit Monitoring

- a. Fördergelder soll man generell nur noch für Wärmepumpen erhalten, bei denen ein separater Stromzähler für die Wärmepumpe und den Elektroheizeinsatz vorhanden ist bzw. für den Elektroheizeinsatz mindestens ein Betriebsstundenzähler. Zudem müssen in den ersten drei Jahren nach der Inbetriebnahme diese Stromverbräuche (und Wärmeproduktion, falls vorhanden) ausgewertet und der Förderstelle eingeschickt werden.
- b. Bei allen geförderten Wärmepumpen ab 20 kW muss nach 2 Jahren eine energetische Betriebsoptimierung nachgewiesen werden.

Hinweise aus den Expertengesprächen

Ein Experte weist darauf hin, dass es für den Elektroheizeinsatz auch reichen würde, einen separaten Betriebsstundenzähler zu installieren. Das sei günstiger als ein Stromzähler. Grundsätzlich seien alle Messinstallationen relativ teuer. Aber wenn gleichzeitig Fördergelder gesprochen würden, könne man solche Bedingungen schon stellen. Ein Teil der Fördergelder müsste bis zur Einreichung der geforderten Monitoring-Daten zurückbehalten werden.

Es wird angemerkt, dass genau definiert werden müsse, was eine energetische Betriebsoptimierung zu umfassen habe und wie das nachzuweisen sei, wenn eine solche zur Förderbedingung wird. Zudem brauche es Stichprobenkontrollen, damit die Förderbedingung ernst genommen werde.

5.3.8 Neue Geschäftsmodelle

In der Kombination von Digitalisierung und dem Anliegen der Energieeffizienz liegt viel Potenzial für neue Geschäftsmodelle. Dazu gibt es bereits einige Ansätze und es gibt Anbieter, die damit bereits auf dem Markt sind. Allerdings wird auch von den befragten Experten angemerkt, dass Energie momentan viel zu günstig sei. Weil die Energiekosten für die Schweizer Haushalte momentan kein Thema sind, ist ihr Hauptanliegen nur, dass es warm ist in der Wohnung. Ein wirklicher Boom für Energieeffizienz-Dienstleistungen ist nicht zu erwarten, solange die Energiepreise tief bleiben. Nachfolgend werden kurz ein



paar Geschäftsmodelle vorgestellt. Von Seiten der Experten wurde kein Bedarf gesehen, solche Geschäftsmodelle durch die öffentliche Hand zu fördern.

Für Abrechnungsdienstleister

Die Mandate der spezialisierten Abrechnungsfirmen unterschieden sich von Kunde zu Kunde. Für gewissen Kunden stellen sie nur den Verteilschlüssel der Nebenkostenabrechnung zur Verfügung. Teilweise haben sie auch Verbrauchsdaten der von ihnen betreuten Mehrfamilienhäusern vorliegen (Energieverbrauch, separater Stromverbrauch Wärmepumpe). Auf dieser Basis könnten sie Kennzahlen allenfalls berechnen (z. B. Verbrauch pro m² Nutzfläche, evtl. JAZ der Wärmepumpe u. ä.). Werden die Kennzahlen sowohl über die Zeit als auch mit ähnlichen Gebäuden verglichen, ergeben sie Hinweise auf Optimierungspotenzial oder auch zum Erkennen von Fehlfunktionen der technischen Anlagen. Solche Analysen könnten die Abrechnungsfirmen als zusätzliche Dienstleistung anbieten. Die Firma Neovac beispielsweise hat ein Produkt¹⁹ auf dem Markt, das Wärmehähler und Strommessung zur Ermittlung von Effizienzkennzahlen kombiniert.

Für Energieversorgungsunternehmen

Auch Energieversorgungsunternehmen sind im Abrechnungsmarkt aktiv. Sie haben den Vorteil, dass sie teilweise selbst über die konkreten Verbrauchszahlen verfügen, wenn sie auch Energielieferant der Abrechnungskunden sind. Das Energieversorgungsunternehmen EBM hat beispielsweise kürzlich das «Multi-Energy-Billing-Geschäft» von Swispower Energy AG übernommen. Mit Multi-Energy-Billing²⁰ ist gemeint, dass alle Energieverbrauchsrechnungen eines Kunden zentral erfasst, verarbeitet und gebündelt an den Kunden übergeben werden. Dadurch besteht auch die Möglichkeit, über ganze Gebäude oder Portfolios Energiekennzahlen zu bilden.

Auch die Energieversorgungsunternehmen, die den Strom zum Gebäude liefern, könnten Analyse-Services anbieten. Wenn sie die Wärmepumpen separat – allenfalls mit einem eigenen Wärmepumpen-Tarif – abrechnen, verfügen sie über Datengrundlagen für ein Monitoring der Anlagen. Wichtig wäre dabei jedoch auch, dass der Elektroheizeinsatz separat gemessen wird. Denn ein falsch betriebener Elektroheizeinsatz kann nicht über den Stromverbrauch der Wärmepumpe erkannt werden.

Bis 2027 müssen die Energieversorgungsunternehmen bei 80% aller Messeinrichtungen in ihrem Netzgebiet intelligente Messsysteme (Smart Meter) installiert haben. Die restlichen 20% dürfen bis zum Ablauf ihrer Funktionsfähigkeit im Einsatz bleiben. Mit den Daten aus diesen fast flächendeckend eingesetzten Smart Meters wird es je länger je einfacher für EVUs, den Energieverbrauch ihrer Kunden zu analysieren. Die Smart Meter-

¹⁹ Wärmepumpenzähler Superstatic 479 SPF

²⁰ Beschreibung auf der Homepage: <https://www.ebm.ch/de/news/die-ebm-uebernimmt-das-multi-energy-billing-geschaef-tuer-buendelkunden-der-swisspower-energy> (Stand 23.4.2018): «Mit dem Multi Energy Billing können Energierechnungen von Strom, Wasser, Wärme und Gas zentral erfasst und abgewickelt werden. Die Kunden erhalten auf ihre Bedürfnisse zusammengefasste Sammelrechnungen, welche sie einfach in ihre Buchhaltungssysteme einlesen können. Dadurch lassen sich die Kosten für die Administration senken. Zudem erhalten die Kunden die nötige Transparenz über ihre Energie- und Kostenflüsse. Dies dient der Erschließung neuer Sparpotenziale.»



Daten dürfen jedoch aus Datenschutzgründen nur für einen eng definierten Anwendungsbereich eingesetzt werden.

Mit den Smart Metern kann der Analyse-Ansatz von Seiten EVUs erweitert werden auf das Lastmanagement des Netzes. Beispielsweise könnte das EVU als Teil einer Gegenleistung für eine kostenlose (periodische) energetische Betriebsoptimierung die Wärmepumpenanlage als Kapazitätspuffer im Markt für Regelenergie verwendet.

Für Wärmepumpenhersteller

Bisher umfassen die Service-Abos von Wärmepumpenanlagen keine oder nur auf dem Papier erwähnte energetische Optimierungsschritte. Dies, weil im Rahmen eines einzelnen Anlage-Besuchs einmal im Jahr eine effektive Betriebsoptimierung nicht durchgeführt werden kann.

Die Wärmepumpenhersteller bauen jedoch je länger je mehr Regler ein, die über das Internet angesteuert werden können. Das Online-Monitoring kombiniert mit der Online-Steuerung wird es erlauben, neue Service- oder Optimierungs-Produkte anzubieten, die ohne aufwändige Anlagebesuche auskommen.



6 Diskussion und Schlussfolgerungen

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im vorliegenden Projekt wurden 81 Mehrfamilienhäuser mit Wärmepumpenanlagen für die Raumwärme und die Warmwasser-Aufbereitung besichtigt und die Anlageneinstellungen analysiert. 25% aller untersuchten Anlagen sind optimal eingestellt. Bei knapp 20% der Anlagen ist die Betriebsweise ineffizient. Die übrigen rund 55% der Anlagen liegen mit suboptimalen Einstellungen zwischen optimal und ineffizient.

Über die ganze Wärmepumpen-Anlage betrachtet liegt der Median des vorgefundenen relativen Endenergieeinsparpotenzials bei 14 % über alle untersuchten Objekte.

Würde in Zukunft in der SIA-Norm ständig 60° am Ausgang des Speichers gefordert, würden im Mittel sämtliche Einsparungen, die mit einem energieoptimierten Betrieb erzielt werden könnten, mehr als rückgängig gemacht.

Die vorgefundenen Hemmnisse für optimal betriebene Wärmepumpenanlagen lassen sich wie folgt kategorisieren:

- Organisatorische Hemmnisse, welche vor allem die Information und Kommunikation unter den Akteuren betreffen. Diese Hemmnisse ergeben sich insbesondere aus der starken Arbeitsteilung rund um Liegenschafts- und Anlagebau und -betrieb.
- Finanzielle Hemmnisse: Die Eigentümerschaft einer Wohnliegenschaft profitiert nicht direkt von Energieeinsparungen aus einer Betriebsoptimierung, weil die Energiekosten von den Bewohnenden mit den Nebenkosten bezahlt werden. Die laufenden Energiekosten machen zudem wegen den tiefen Energiepreisen nur einen wenig relevanten Anteil an den Miet- oder Wohnkosten aus.
- Falsche Anreize: Die Verantwortlichen vor Ort riskieren Reklamationen und Probleme mit den Nutzenden, wenn im Zuge einer energetischen Betriebsoptimierung für die Einregulierung das Temperaturoptimum einmal unterschritten wird.

6.2 Massnahmen zur Realisierung der Einsparpotenziale im Betrieb

Auf Grund der Studienergebnisse wurden vom Projektteam Massnahmen formuliert, die zu energetisch besser eingestellten Wärmepumpenanlagen in Wohngebäuden führen sollen. Die Massnahmenvorschläge wurden mit fünf Experten diskutiert, bereinigt und vom Projektteam bewertet. Die nachfolgende Tabelle 23 zeigt die Massnahmenvorschläge zuhanden der öffentlichen Hand. In den hinteren Spalten findet sich die Bewertung bezüglich energetischer Relevanz, Handlungsspielraum der öffentlichen Hand und eine Priorisierungsempfehlung.



Nr.	Bezeichnung der Massnahme	Bewertung durch Projektteam:	Beschreibung	Energetische Wirkung	Handlungsspielraum öff. Hand	Priorität von 1 = hoch bis 3 = tief
1	Bestellerkompetenz der Gebäudeeigentümerschaften/Bauherrschaften gegenüber Planenden fördern	a. Bekanntmachung und bessere Zugänglichkeit von bestehenden Hilfsmitteln. b. Ergänzung der LEISTUNGS-GARANTIE-Karte um Ausführungen dazu, was «Einregulierung» bedeutet: sie müsste die Begleitung über eine Heizperiode umfassen. Zudem Ergänzung um den Punkt, dass die Planenden verpflichtet sind, das Inbetriebnahme-Protokoll zu prüfen und sich bei Abweichungen zur Planung einzuschalten. Prüfen, ob die Leistungsgarantie, ergänzt um die obigen Punkte, in einen SIA-Standardvertrag zur Bestellung von Wärmepumpenanlagen überführt werden soll (vgl. Massnahme 5). c. Sensibilisierung der Bauherrschaften, dass die Anlage spätestens 2 Jahre nach der Inbetriebnahme nochmals eingestellt werden sollte.		+++	++	1
2	Bestellerkompetenz der Eigentümer-schaft gegenüber Verwaltung/ Haus-wartung fördern	a. Erarbeitung von Hinweisen und Textvorlagen, wie im Pflichtenheft der Immobilienverwaltung und/oder der Hauswartung ein minimales Monitoring der Energieeffizienz eingefordert werden kann. b. Dazu müsste eine Textvorlage erarbeitet und verbreitet werden, z. B. über den Hauseigentümerverband (HEV) und den Hausverein.		+	++	3
3	«Selbstdiagnose» und «Anlage-Journal»-Formular	a. Erstellen und Verbreiten einer einfachen Anleitung «Selbstdiagnose» für Nicht-Fachpersonen. Die Anleitung zeigt, wie man bei einem Wohngebäude mit verschiedenen Eckwerten herausfinden kann, ob der Wärmepumpenbetrieb wahrscheinlich energieeffizient erfolgt oder ob eine vertiefte Analyse angezeigt wäre. Zudem soll explizit darauf hingewiesen werden, dass die Wärmepumpen-Hersteller in der Regel eine Hotline führen, die einen dabei unterstützt, die notwendigen Parameteranpassungen vorzunehmen. Zielgruppe: private Gebäudeeigentümerschaften, Verwaltungen, Hauswarte. b. Es soll geprüft werden, ob es zielführend ist, neben den Hotlines der Hersteller eine unabhängige Hotline aufzubauen (z. B. via energo), an die sich Gebäudeverantwortliche bei Fragen zur Einstellung der eigenen Wärmepumpenanlage wenden können. c. Parallel zur «Selbstdiagnose» wird ein Formular mit den zentralen, in der «Selbstdiagnose» verwendeten Parametern erstellt und als standardisiertes «Anlage-Journal» aufbereitet. Dieses ist durch die Heizungsplanenden auszufüllen und der Betriebsanleitung der Anlage beizulegen. d. Prüfen der Kanäle, über welche die «Selbstdiagnose» und das «Anlage-Journal» breit gestreut werden können – z. B. über die Lieferanten der Wärmepumpen, die Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz, den HEV etc.		+++	+++	1



Nr.	Bezeichnung der Massnahme	Bewertung durch Projektteam:	Beschreibung	Energetische Wirkung	Handlungsspielraum öff. Hand	Priorität von 1 = hoch bis 3 = tief
4	Sensibilisierung für Problemstellung nach Erneuerung	Systematische Information von Eigentümerschaften, die Gelder aus dem Gebäudeprogramm erhalten haben, dass nach einer Gebäudehüllensanierung die Heizung neu eingestellt werden muss. Die Information muss konkrete Handlungsempfehlungen enthalten, z. B. Adressen von zertifizierten Anbietern und beispielsweise den Hinweis auf die «Selbstdiagnose» (vgl. Massnahme 3a).		+	+++	2
5	Norm-Aufträge bzw. Norm-Verträge für Planende	Prüfen, ob in Ergänzung zur Leistungsgarantie von den zuständigen Verbänden (insbesondere SIA) ein Norm-Vertrag für die Planung von Wärmepumpenanlagen ausgearbeitet werden soll. Der Normvertrag für die Anlageplanenden sollte die Begleitung der Anlage bis in den einregulierten Betrieb sichern und verhindern, dass z. B. Inbetriebnahme-Protokolle nicht geprüft und Informationen aus der Planung nicht in den Betrieb weitergegeben werden.		+++	+	2
6	Kommunikationskampagne mit Zielgruppe Hauswarte/innen und selbstverwaltende Eigentümerschaften	Kommunikationskampagne über den Schweizerischen Fachverband der Hauswarte und den Berufsverband ausgebildeter Hauswarte an ihre Mitglieder und über den Hauseigentümerversand (HEV Schweiz oder regionale Sektionen) zuhanden von Personen, die ihr eigenes Mehrfamilienhaus betreuen. a. Grundsätzliche Sensibilisierung der Verantwortlichen für den Wert der Dokumentation und der Überprüfung von Einstellungen, gemessenen und beobachteten Parametern und Bewohnenden-Rückmeldungen. b. Verbreitung der «Selbstdiagnose» (vgl. Massnahme 3a) c. Vertiefung der «Selbstdiagnose»: Merkblatt zur energetischen Betriebsoptimierung von Wärmepumpenanlagen: welche Parameter müssen über wie lange Zeit erhoben werden, wo beginnt man mit der Einregulierung, was macht man bei Reklamationen, welche Aufgaben haben die Service-Anbieter, auf was muss man beim Abschluss von Serviceverträgen achten, wo erhält man konkrete Hilfestellungen, wenn man selbst einregulieren möchte, welche Drittangebote gibt es. Allenfalls Erstellen eines Info-Blatts zum richtigen Nutzerverhalten, das die Hauswarte/innen an die Bewohnenden verteilen können. d. Periodisch Artikel im Publikationsorgan des HEV platzieren zum energetisch optimierten Betrieb von Wärmepumpen-Heizungen und der Warmwasser-Produktion mit einer Wärmepumpe.		++	++	2
7	Image, Aus- und Weiterbildung Hauswarte/innen	In Ergänzung zur Kommunikationskampagne (vgl. den Massnahme Nr. 6) a. Image-Kampagne zur Stärkung des technischen Profils von Hauswarten/innen zusammen mit dem Fachverband der Hauswarte. Botschaft: Der/die Hauswart/in ist ein/e vielseitige/r Praktiker/in, der/die auch Heizungs- und Lüftungsanlagen warten und optimal einstellen kann.		++	+	3



Nr. Bezeichnung der Massnahme	Bewertung durch Projektteam:	Beschreibung	Energetische Wirkung	Handlungsspielraum öff. Hand	Priorität von 1 = hoch bis 3 = tief
b. Zusammenarbeit mit den Ausbildungsträgern (u. a. Fachverbände der Hauswarte) für die Stärkung des technischen Anlageknowhows in der Aus- und Weiterbildung.					
8 Pilotprojekt mit grosser Verwaltung als Arbeitgeberin von Hauswarten/innen	Für das Pilotprojekt muss eine grössere Immobilienverwaltung oder eine grössere Eigentümerschaft zur Teilnahme am Pilotprojekt motiviert werden. Argumente dafür sind die Profilierung als ökologisch fortschrittlicher Anbieter von Dienstleistungen oder Wohnraum und das Job-Enrichment für die eigenen Hauswarte/innen. Bei Genossenschaften können die Energieeinsparungen für die eigenen Genossenschafter/innen zur Teilnahme motivieren. Pilotprojekt mit folgenden Teilen: — Startschulung: ca. drei Stunden Schulung für alle teilnehmenden Hauswarte/innen an einer oder mehreren konkreten Anlagen. Inhalte u. a: welche Parameter sind zu erheben, wie dokumentieren in Abhängigkeit der vorhandenen Messinstrumente etc. — Mehrere Hauswarte werden von einem Coach (z. B. energo-Ingenieur oder Techniker ihres Wärmepumpenlieferanten) betreut: Er kann telefonisch mit Fragen kontaktiert werden. Er erinnert «seine» Hauswarte/innen proaktiv an die periodisch zu erhebenden Daten oder daran, dass nochmals nachjustiert wird. — Telefonberatung durch den Coach nach Bedarf. — Erfahrungsaustausch der teilnehmenden Hauswarte — Laufzeit: 1-2 Jahre (im ersten Teil: Schulung und Erheben der relevanten Information, im zweiten Teil: sukzessive Einregulierung).	+	++	2	
9 Neues Label für nachhaltiges FM oder nachhaltige Hauswartung	Aufbau einer nationalen Zertifizierung wie «Green»-Facility-Management oder «Nachhaltige Hauswartung» o. ä. bei welcher die energetische Betriebsoptimierung einen hohen Stellenwert hat. Vorgängig dazu Abklärungen bei den verantwortlichen Verbänden.	+	++	2	
10 Diskussion von Garantien und Zuständigkeiten mit WP-Herstellern	a. Die Verantwortlichkeiten in der Betriebsphase sollten im Austausch mit allen Beteiligten (insb. mit den Service-Anbietenden) bzw. ihren Branchenvertretern neu ausgehandelt werden. b. In diesem Zusammenhang müsste auch die Frage des energieeffizienten Anlagenbetriebs aufgeworfen werden. Es müsste geklärt werden, wer dafür zuständig ist. Eine einzige Person sollte periodisch die Effizienz der Gesamtanlage prüfen und dazu bei Bedarf von den anderen Beteiligten die notwendigen Datengrundlagen erhalten.	+	+	3	



Nr.	Bezeichnung der Massnahme	Bewertung durch Projektteam:	Beschreibung	Energetische Wirkung	Handlungsspielraum öff. Hand	Priorität von 1 = hoch bis 3 = tief
11	Verständigung über Begrifflichkeiten und Vereinfachung mit den WP-Herstellern	a. Wärmepumpenanlagen sind komplex und auch deshalb anspruchsvoll, weil jeder Hersteller andere Begriffe und andere Steuerungen verwendet. Im Austausch mit den Herstellern soll eine Verständigungsnorm angestrebt werden, damit mindestens die grossen Wärmepumpen-Hersteller für ihre Anlagen dieselben Begrifflichkeiten verwenden. b. Anzustreben wäre auch eine koordinierte Festlegung, was über die Nutzeroberfläche verändert werden kann und was in der Steuerungsebene angesiedelt wird. Die wichtigen Anlagenparameter und Steuerungselemente für einen energieoptimierten Betrieb, der auf die Anforderungen der Nutzenden reagieren können muss, sollten in der Nutzeroberfläche angesiedelt sein.		++	++	2
12	Ohne gesicherte Erkenntnisse Norm SIA 385/1 nicht verschärfen	a. Die Erkenntnisse aus der gesichteten Literatur und den Gesprächen im Verlauf des Projekts lassen vermuten, dass aus hygienischer Sicht kein Druck für eine Verschärfung der Norm SIA 385/1 (Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden - Grundlagen und Anforderungen) besteht. Wir empfehlen, die Anpassung der Norm SIA 385 in Bezug auf die Warmwassertemperaturen vor diesem Hintergrund nochmals zu überprüfen bzw. nur im Fall von gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen zu verschärfen. b. Die Erkenntnisse aus der Literatur und die Ergebnisse der Beprobung von acht Liegenschaften auf Legionellen zeigten vor allem, dass es bezüglich des Zusammenhangs von Warmwassertemperaturen, Warmhaltesystemen und Legionellenkontamination noch einigen Forschungsbedarf gibt. Wir empfehlen diese Aspekte vertieft wissenschaftlich untersuchen zu lassen.		+++	+++	1
13	Falls SIA 385/1 verschärft wird: zusätzliche Vorgaben im Vollzug	a. Falls SIA 385/1 verschärft wird, sollen die Kantone in den Vollzugsverordnungen verlangen, dass z. B. nur noch Wärmepumpen installiert werden, die 60° mit vertretbarer Jahresarbeitszahl erreichen. Elektroheizeinsätze für die Nacherwärmung müssten verboten oder eine optimale Einbindung in die Steuerung verlangt werden. b. Zudem müssten Bestandesanlagen, die diese Vorgaben noch nicht erfüllen, explizit von der verschärften Norm ausgenommen werden.		++	++	2
14	Vorschrift für auslesbare Messdaten	Für die nächste Überarbeitung der Energiegesetzgebung: Es sollte vorgeschrieben werden, dass alle Wärmepumpen ab einer bestimmten Grösse (z. B. ab 20 kW Leistung) über adäquate Messeinrichtungen bezüglich des Stromverbrauchs der Wärmepumpe und des Elektroheizeinsatzes und über einen Wärmezähler verfügen, damit die Jahresarbeitszahl der Anlagen einfacher ermittelt und verfolgt werden kann. In den MuKE n 2014 wird dies mit dem Modul 5 für Nicht-Wohngebäude ab 5'000 m ² EBF bereits verlangt (Ausrüstungspflicht Gebäudeautomation bei Neubauten).		+	+++	2



Nr.	Bezeichnung der Massnahme	Bewertung durch Projektteam:	Beschreibung	Energetische Wirkung	Handlungsspielraum öff. Hand	Priorität von 1 = hoch bis 3 = tief
15	Präzise Inbetriebnahme-Vorgaben	Es muss konkrete Inbetriebnahme-Vorgaben geben. Das gilt auch für das Wärmepumpen-System-Modul. Es soll keine Wärmepumpen mehr geben, die unbesehen mit Werkseinstellungen laufen und bei Bauaustrocknung braucht es immer eine Nachjustierung. Zudem darf der Vorlauf bei -8° Aussentemperatur die Vorgaben gemäss MuKE n 2008 nicht übersteigen: 35° C bei Fussbodenheizung, 50° C bei Radiatoren.		+++	+	2
16	Aufnahme der Kosten für energetische Betriebsoptimierung in die Nebenkosten	Diskussion einer Anpassung der Mietrechts-Verordnung (VMWG): Klärung der Möglichkeit der Überwälzung der Kosten einer energetischen Betriebsoptimierung auf die Nebenkosten unter bestimmten Bedingungen. Anstreben einer diesbezüglichen Verordnungsänderung in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Wohnungswesen, dem MieterInnenverband, HEV evtl. anderen.		++	+++	1
17	Bessere Kontrolle des Elektroheizeinsatzes	a. Der Schaltzustand (EIN/AUS) und die Soll-Temperatur des Elektroheizeinsatzes für das Warmwasser soll klar erkennbar sein (z.B. Zeitschaltuhr, digitale Temp.anzeige nicht Drehknopf). b. Ein Elektroheizeinsatz muss über eine programmierbare Wochen-Zeitschaltuhr verfügen und darf nicht nur direkt über ein Rundsteuersignal des Elektrizitätswerks freigegeben werden. Sonst läuft er unnötig lange. c. Es ist wichtig zu vermeiden, dass der Elektroheizeinsatz eingeschaltet wird, bevor die Wärmepumpe die maximal sinnvolle Wassertemperatur erarbeitet hat. Dies betrifft einerseits die richtige Platzierung des Temperaturfühlers und andererseits die Einbindung in die Steuerung		+++	+	2
18	Betriebsoptimierungs-App für verschiedene Systeme	Entwickeln einer interaktiven Anleitung (z. B. als App für Handys) für die energetische Betriebsoptimierung von Wärmepumpen durch Hauswarte/innen bzw. durch die Verantwortlichen vor Ort. Die App-Entwicklung muss in Zusammenarbeit mit den grösseren WP-Anbietern erfolgen, um deren Systeme richtig einzubinden.		+	+	3
19	Nur noch Fördergelder für WP mit Messinstrumenten und Einregulierung	a. Fördergelder sollen generell nur noch für Wärmepumpen ausgerichtet werden, bei denen ein separater Stromzähler für die Wärmepumpe und den Elektroheizeinsatz vorhanden ist. Zudem müssen in den ersten 3 Jahren nach der Inbetriebnahme die Stromverbräuche (und die Wärmeproduktion, falls vorhanden) ausgewertet und der Förderstelle eingeschickt werden. b. Bei allen geförderten Wärmepumpen ab 20 kW muss nach 2 Jahren eine energetische Betriebsoptimierung nachgewiesen werden.		+	+++	2

Tabelle 23: Übersicht Massnahmenvorschläge mit Priorisierung durch das Projektteam



6.3 Ausblick und mögliche Folgeprojekte

Auf Basis der Forschungsergebnisse wurden vom Projektteam rund 20 Handlungsansätze skizziert und aus Forschungssicht priorisiert. Es liegt nun am Bundesamt für Energie und an anderen interessierten Stellen, die Handlungsansätze zu prüfen und nach Möglichkeit in die Umsetzung zu führen. Bei den meisten Handlungsansätzen sind für eine erfolgreiche Umsetzung der Massnahmen Kooperationen mit Verbänden oder anderen Interessenvertretungen notwendig. Die Komplexität des Einsatzes von Wärmepumpenanlagen spiegelt sich in der Vielzahl von involvierten Fachpersonen und damit in der Vielzahl und Vielfalt von für die Umsetzung relevanten Verbänden und Interessenvertretungen wieder. Die starke Arbeitsteilung beim Wärmepumpeneinsatz, die unter anderem in der Komplexität dieser Systeme und ihrer Integration begründet ist, stellt auch die grosse Herausforderung auf dem Weg zu optimal eingestellten Anlagen dar.

Das Projektteam sieht in drei Bereichen mögliche Folgeprojekte, die die oben skizzierten Massnahmenvorschläge unterstützen würden. Es geht um Projekte in den Bereichen Forschung, Umsetzung und regulatorische Rahmenbedingungen. Sie werden nachfolgend skizziert.

6.3.1 Forschung

Legionellenforschung

Das aus gesundheitspolitischer Sicht wichtige Anliegen der Vorbeugung der Legionärskrankheit ist energetisch gesehen sehr relevant. Im Fall von Wärmepumpenanlagen ist der Effekt noch grösser als beispielsweise bei Anlagen, in denen das Warmwasser mit fossilen Brennstoffen produziert wird. Denn einerseits erhöht sich der Energieverbrauch, wenn höhere Wassertemperaturen erreicht werden müssen, andererseits verringert sich die Effizienz der Wärmepumpenanlagen, je höhere Temperaturen produziert werden müssen. Die energetischen und die gesundheitspolitischen Interessen sind nun sorgfältig abzuwägen. Gleichzeitig besteht eine gewisse Dringlichkeit, die Situation in Bezug auf eine neue SIA-Norm 385/1 zu klären. Wir empfehlen deshalb die Ausschreibung von einem oder mehreren Forschungsprojekten zur empirischen Klärung des Zusammenhangs von Legionellenerkrankungen, Legionellen im Trinkwasser, Verteilsystemen, Materialien, Speicher- und Warmhalte-Temperaturen etc. Erst auf dieser Basis kann abgeschätzt werden, ob eine Erhöhung der Speichertemperatur von Brauchwarmwasser auf ständig 60° am Ausgang des Speichers und die damit einhergehenden Effizienzverluste aus gesundheitspolitischer Sicht gerechtfertigt sind. Die Forschungsprojekte würden den Massnahmenvorschlag 12 bearbeiten.



Forschung zu einheitlichen und verständlichen Steuerungen

Finanzierung eines Forschungsprojekts, in welchem konkrete Vorschläge erarbeitet werden, wie die Regelparameterdarstellung und die Verortung der verschiedenen Parameter in der Steuerungsarchitektur gestaltet werden sollten. Die Wärmepumpen-Steuerungen sollten in der Nutzerebene von interessierten Laien verstanden und bedient werden können. In der tiefer liegenden Serviceebene sollte die Steuerung von unabhängigen – d. h. nicht dem Hersteller angegliederten – Fachpersonen verstanden und bedient werden können. Die Vorschläge für Darstellung und Verortung würden an realen Nutzern/innen (Hauswarten/innen, interessierten Eigentümerschaften) und Fachpersonen (Haustechnikplanende, Energieberater/innen) getestet. Mit deren Bewertungen würden die Vorschläge optimiert. Die Erkenntnisse aus dem Projekt würden als Basis dienen für die Arbeiten mit den Herstellerfirmen zur Vereinheitlichung der Steuerungen etc. (vgl. unten Vorschlag «Vorprojekt Einbindung WP-Hersteller»). Dieses Forschungsprojekt würde Grundlagen liefern für die Massnahmenvorschläge 6, 11 und 18.

Forschung zu verständlichen Haustechnik-Anleitungen

Finanzierung eines Forschungsprojekts, in welchem konkrete Vorschläge erarbeitet werden, wie die Selbstdiagnose-Anweisungen und -instrumente gestaltet werden sollten, damit sie von interessierten Laien verstanden und angewendet werden können. Die Vorschläge würden an realen Nutzern/innen (insb. Hauswarte/innen, interessierten Eigentümerschaften) getestet. Mit deren Bewertungen würden die Vorschläge optimiert. Die Erkenntnisse zu den Anforderungen an eine Selbstdiagnose-Anleitung würden ins Umsetzungsprojekt «Befähigungsprojekt Eigentümerschaften und Verantwortliche» (vgl. unten) einfließen. Dieses Forschungsprojekt würde Grundlagen liefern für die Massnahmenvorschläge 3, 6 und 18.

6.3.2 Umsetzungsprojekte

Befähigungsprojekt Eigentümerschaften und Verantwortliche

(Mit-) Finanzierung einer Sensibilisierungskampagne, die auch die Erarbeitung von niederschweligen Hilfsmitteln zur Beurteilung und Optimierung der energetischen Kennzahlen von Wärmepumpen-Anlagen einschliesst. Mit den Hilfsmitteln sind die oben skizzierte «Selbstdiagnose» und ein «Anlage-Journal» gemeint (vgl. dazu auch die vorgeschlagenen Grundlagenarbeiten im Forschungsvorschlag «Forschung zu verständlichen Haustechnik-Anleitungen»). Zudem sollte im Hinblick auf eine Sensibilisierungskampagne die Leistungs-Garantie-Karte um den Punkt «Einregulierung» ergänzt und besser für Interessierte zugänglich gemacht werden. Es ist wichtig – in einem separaten Projekt oder im Rahmen dieses Befähigungsprojekts – für bestehende, zu optimierende und neue Hilfsmittel geeignete Kommunikationskanäle zu ermitteln oder zu entwickeln. Denn die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass es zwar bereits viele gute Hilfsmittel gibt, diese jedoch die Zielgruppen ungenügend erreichen. Das Projekt sollte parallel zur Zielgruppe der Gebäudeeigentümerschaften auch die Zielgruppe der Gebäudebewirtschaftenden an-



sprechen. Hintergrund dafür ist, dass bei Gebäuden, die extern verwaltet werden, die Bewirtschaftenden massgeblich Einfluss nehmen auf die Entscheide und Verträge rund um die Heizung (vgl. Lehmann et al. 2017). Als dritte Zielgruppe sollten über leicht angepasste Kanäle (z. B. Hauswart-Verbände und HEV) Hauswarte/innen und Personen, die ihr Mehrfamilienhaus selbst verwalten, erreicht werden. Dieses Projekt würden die Massnahmenvorschläge 1, 3 und 6 bearbeiten.

Vorprojekt Einbindung WP-Hersteller

Zentrale Akteure beim Betrieb von Wärmepumpenanlagen sind die Hersteller und ihre Service-Abteilungen. Mit den Resultaten aus dem oben vorgeschlagenen Forschungsprojekt «Forschung zu einheitlichen und verständlichen Steuerungen» könnte ein Vereinheitlichungsprozess mit den grossen, in der Schweiz aktiven Herstellerfirmen gestartet werden. Mittelfristiges Ziel wäre eine Vereinheitlichung der Begrifflichkeiten und eine einheitliche Zugänglichkeit der Regelparameter (z. B. Heizgrenze, Heizkurve) für einen energieeffizienten Betrieb in der Nutzenden-Steuerungsebene. Wir gehen jedoch davon aus, dass zuerst ermittelt werden muss, wer die relevanten Akteure für eine solche Branchenentwicklung sind, wie sie angesprochen werden wollen und sollen etc. Deshalb sollen in einem Vorprojekt die Grundlagen für eine Zusammenarbeit mit der Branche geschaffen werden. Das Vorprojekt müsste vom BFE angestossen und finanziert werden. Für ein späteres Koordinationsprojekt müsste die Unterstützung der relevanten Verbände, insbesondere GebäudeKlima Schweiz und der Fachverband Wärmepumpen Schweiz gewonnen werden. In einer späteren Phase (Koordinationsprojekt) würde eine aktive Einbindung der grossen Hersteller auch dazu führen, dass mit ihnen gemeinsam weitere Themen angegangen werden könnten: z. B. eine standardmässig fehlerrisikofreie Einbindung der Elektroheizeinsätze in die Anlagen und in die Steuerung, Entwicklung von Inbetriebnahme-Mindestanforderungen, die auch die Situation der Bauaustrocknung abdecken, standardmässiger Einbau von Hilfsmitteln zur Beurteilung der Anlageeffizienz (z. B. Wärmezähler, Elektrozähler). Dieses Projekt würde mittelfristig die Massnahmenvorschläge 10, 11, 14, 15, 17 unterstützen.

Evaluation und Verbreitung von Inbetriebnahmekursen

Das Projektteam schlägt als Massnahme 8 ein Pilotprojekt zur Schulung von Hauswarten eines grösseren Arbeitgebers von Hauswarten vor. Es gibt jedoch bereits ein Projekt mit ähnlicher Ausrichtung vom Forum Energie Zürich: «Inhouse-Schulung. Für FM-Firmen, Genossenschaften, Verwaltungen und weitere Organisationen. Inbetriebnahme: energieeffizient & mängelfrei»²¹. Anstatt einen weiteren Pilot zu starten dürfte es effizienter sein, die Erfahrungen des Kursangebots vom Forum Energie Zürich zusammen mit ähnlichen bisherigen Angeboten (z. B. Kurse für technische Leitende und Hauswarte/innen) auszuwerten und auf dieser Grundlage schweizweit ein erweitertes Ausbildungsangebot für Inbetriebnahme und energetische Betriebsoptimierung in Zusammenarbeit mit den be-

²¹ <https://www.forumenergie.ch/kurse/inhouse-schulung/inbetriebnahme> (Stand 10.7.2018)



stehenden Hauswart-Ausbildungszentren zu lancieren. Dieses Umsetzungsprojekt würde die Massnahmenvorschläge 7 und 8 bearbeiten.

Information nach Gebäudeprogramm-Fördergeldbezug

Werden an einem Gebäude Effizienzmassnahmen umgesetzt, die Wärmeerzeugung jedoch nicht den neuen Gegebenheiten angepasst, verliert man sich einen grossen Teil des potenziellen Einspareffekts. Deshalb sollte ein Hinweisblatt erarbeitet werden, mit dem alle Bezüger/innen von Gebäudeprogramm-Fördergeldern für die Gebäudehülle systematisch darauf hingewiesen werden, dass und wie sie die Gebäudetechnik nach der Erneuerung wieder optimal einstellen sollen bzw. wo sie Adressen von lokalen Anbietern dafür finden. Allenfalls kann das Hinweisblatt um die «Selbstdiagnose» (vgl. oben) ergänzt werden. Dieses Umsetzungsprojekt würde den Massnahmenvorschlag 4 bearbeiten.

6.3.3 Regulatorische Rahmenbedingungen

Sondierung bzgl. Aufnahme der Kosten für eBO in die Nebenkosten

Klärung der Möglichkeiten, Grenzen und Vorbehalte, um die Kosten von energetischen Betriebsoptimierungen (eBO) in Mietwohngebäuden auf die Mietenden zu überwälzen (Anpassung der Mietrechtsverordnung). Dazu müssten insbesondere mit dem Bundesamt für Wohnungswesen, dem MieterInnen-Verband aber auch Vertretenden der Gebäudeeigentümerseite und juristischen und anderen Fachpersonen Sondierungsgespräche geführt werden. Dieses Umsetzungsprojekt würde den Massnahmenvorschlag 16 bearbeiten.

Bei der Wärmepumpen-Förderung eBO einfordern

Die separate Auswertung der vom Stromsparfonds geförderten Anlagen in dieser Studie zeigen, dass Objektkontrollen richtig eingestellte Anlagen begünstigen. Deshalb müsste geprüft werden, ob ins Harmonisierte Fördermodell der Kantone (HFM) die Bedingung aufgenommen werden kann, dass geförderte Wärmepumpen bereits ab einer Grösse von 20 kW Monitoring-Instrumente installiert haben müssen. Heute wird im HFM 2015 ab 100 kW Leistung eine «Fachgerechte Strom- und Wärmemessung vorausgesetzt». Zudem sollte geprüft werden, ob die Fördergelder jeweils in zwei Tranchen ausbezahlt sind. Beim Bezug einer zweiten Tranche der Fördergelder müsste nachgewiesen sein, dass die Anlage nach 1 bis 2 Jahren nochmals einreguliert wurde. Dazu sollten beispielsweise die Erfahrungen des Stromsparfonds der Stadt Zürich mit diesem Regime berücksichtigt werden. Heute verweist das HFM 2015 darauf, dass entweder das Wärmepumpen-Systemmodul oder die Leistungsgarantie von EnergieSchweiz angewandt werden muss. Im Zusammenhang mit den Abklärungen zur Anpassung der Förderbedingungen sollte mit den Kantonen diskutiert werden, ob die Vorgabe von Wärme- und Strommess-Instrumenten ab 20 kW sogar in die Energiegesetzgebung aufzunehmen ist. Diese Aktivitäten beziehen sich auf die Massnahmenvorschläge 14 und 19.



Vollzugsanpassungen falls SIA 385/1 verschärft wird

Bis gesicherte Erkenntnisse zu den hygienischen Auswirkungen einer Verschärfung von SIA 385/1 vorliegen (vgl. Forschungsprojekt oben), sollte SIA 385/1 nicht verschärft werden. Sollte SIA 385/1 schliesslich doch so angepasst werden, dass ständig 60° am Ausgang des Speichers einzuhalten sind, müssten im Rahmen der Vollzugsverordnung die negativen Effekte der Verschärfung auf die Energieeffizienz begrenzt werden. Dabei ginge es beispielsweise um die richtige Einbindung des Elektroheizeinsatzes oder darum, ob und wie nur noch Wärmepumpen zugelassen werden können, die 60° mit vertretbarer Effizienz produzieren. Es dürfte zielführend sein, wenn diese Vollzugsvorschriften vom SIA und den Kantonen gemeinsam entwickelt und die Arbeiten vom Bund (BFE, BAG) unterstützt würden. Dieses Umsetzungsprojekt würde den Massnahmenvorschlag 13 bearbeiten.



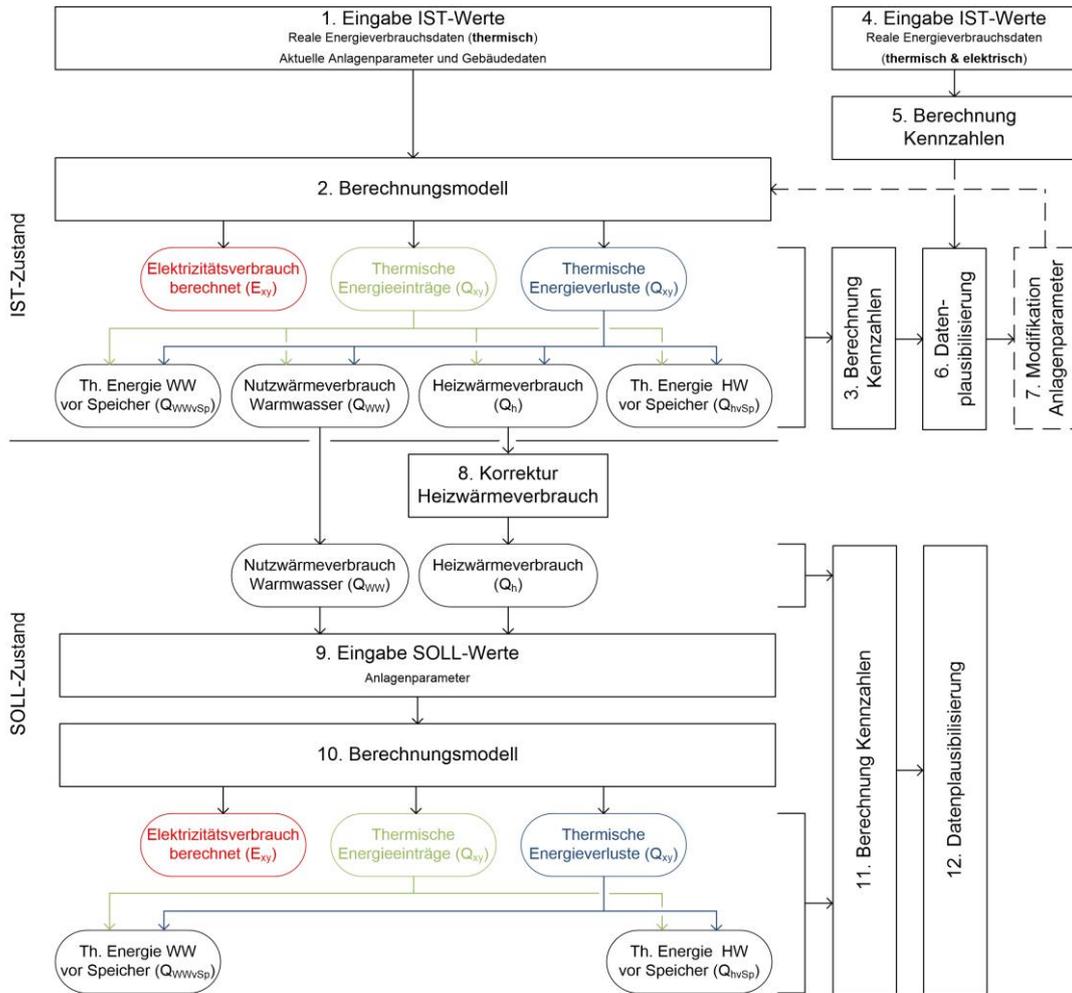
Anhang

A-1 Berechnungsmodell und Vorgehen für die Berechnungen

A-1.1 Berechnungsablauf

Mit dem nachfolgend dargestellten Berechnungsmodell können die Anlagenkennzahlen (Energie und Arbeitszahlen), welche auf Grund der unterschiedlichen Messstellen und unvollständiger Daten voneinander abweichen, vereinheitlicht werden. Zudem dient es der Validierung der berechneten Grössen mit den verfügbaren Messdaten. Weiter können die Anlagenparameter (Heizkurve, Heizgrenze, etc.) variiert und so fiktive Anlagenzustände berechnet werden.

Der Berechnungsablauf ist in Figur 32 vereinfacht dargestellt und wird durch Figur 9 auf Seite 51 mit den Systemgrenzen der verschiedenen Jahresarbeitszahlen ergänzt. Die dortige Figur zeigt sämtliche elektrischen (rot) und thermischen Energieflüsse (Einträge=grün, Verluste=blau) welche im Berechnungsmodell berücksichtigt werden



Figur 32: Flussdiagramm des Berechnungsmodells.

Die Berechnung erfolgt entlang den folgenden Schritten:

- 1 Die realen thermischen Energieverbrauchsdaten werden zusammen mit den aktuellen Anlagenparameter und Gebäudedaten in das Erfassungsformular eingetragen und in das Berechnungsmodell importiert.
- 2 Im Berechnungsmodell werden die eingetragenen Daten verarbeitet und sämtliche thermischen Einträge und Verluste sowie der Endenergieverbrauch der IST-Situation berechnet. Daraus ergeben sich die thermischen Energiemengen an den unterschiedlichen Messpunkten (vor dem Speicher, nach dem Speicher, WW-Nutzwärme- und Heizwärmeverbrauch).
- 3 Aus den zuvor berechneten Werten lassen sich unter anderem die Kennzahlen «spezifischer Endenergieverbrauch», «Jahresarbeitszahl 2» sowie «Jahresarbeitszahl 4» bilden.



- 4 Die realen, gemessenen thermischen und elektrischen Energieverbräuche werden zusammengetragen.
- 5 Aus den gemessenen, thermischen und elektrischen Verbrauchsdaten werden dieselben Kennzahlen wie unter Punkt 3 gebildet.
- 6 In der Datenplausibilisierung werden die berechneten Kennwerte aus 3, sowie die gemessenen Kennwerte aus 5 miteinander verglichen. Als zulässige Abweichung werden +/- 20 % (beim spez. Endenergieverbrauch) bzw. +/- 10 % (bei JAZ 2 und 4) betrachtet.
- 7 Weichen die Kennzahlen um mehr als der unter Punkt 6 genannte Prozentsätze ab, so werden die folgenden standardisierten Eingabeparameter angepasst. Die beeinflussbaren Parameter sind die Soletemperatur (+/- 2 K) sowie die Effizienz der Wärmepumpe (+/- 30 %). Die Punkte 1 bis 7 werden iterativ solange wiederholt, bis die zulässigen Abweichungen von Punkt 6 eingehalten werden. Durch diesen Vorgang wird das Berechnungsergebnis so lange an die Messwerte zu Eigenverbrauch und Jahresarbeitszahl angenähert bis die relative Abweichung weniger als 20 % (Energieverbräuche) bzw. 10 % (Arbeitszahlen) beträgt.
- 8 Das Absenken der Heizkurve führt zu einer Verminderung des Heizwärmeverbrauchs. Dies wird bei der Korrektur des Heizwärmeverbrauchs berücksichtigt (3°C/K).
- 9 In das Berechnungsmodell werden nun die Soll-Werte (vgl. Kapitel 3.3) eingefügt.
- 10 Das Berechnungsmodell berechnet nun sämtliche thermischen Einträge und Verluste sowie den Endenergieverbrauch für die SOLL-Situation (vgl. Punkt 2)
- 11 Aus den unter 10 berechneten Daten lassen sich unter anderem die Kennzahlen «spezifischer Endenergieverbrauch», «Jahresarbeitszahl 2» sowie «Jahresarbeitszahl 4» für die SOLL-Situation bilden.
- 12 Die Daten werden anhand von unterschiedlichen Parametern auf ihre Plausibilität geprüft (siehe Kap A-1.6).

Aus den so berechneten Energie Einträgen, Verlusten und Verbräuchen, lassen sich nun diverse Vergleiche zwischen der IST- und der SOLL-Situation durchführen.

A-1.2 Kennzahlen

Im Folgenden sind die Formeln einiger in der Studie verwendeter Kennzahlen aufgezeigt. Die Parameter sind in der Figur 9 auf Seite 51 ersichtlich. Deren Berechnungsgrundlagen sind in den Kapiteln A-1.4 und A-1.5 vereinfacht erklärt.



Endenergieverbrauch (E_{Tot})

$$E_{Tot} = E_V + E_{SP} + E_{WP} + E_{LP} + E_{UP} + E_{EH} + E_{NH} + E_{HG} + E_{BH} + E_{ZP} + \frac{Q_{hSol}}{COP_h} + \frac{Q_{WWSol}}{COP_{WW}}$$

Nutzwärmeverbrauch Heizwärme und Warmwasser (Q_{hWW})

$$Q_{hWW} = Q_h + Q_{WW}$$

Jahresarbeitszahl 2 (JAZ 2)

$$JAZ\ 2 = \frac{Q_{hNSp} + Q_{WWvSp}}{E_V + E_{SP} + E_{WP} + E_{LP} + E_{UP}}$$

Jahresarbeitszahl 4 (JAZ 4)

$$JAZ\ 4 = \frac{Q_{hWW}}{E_{Tot}}$$

A-1.3 Verteilung Nutzenergieverbrauch aufs Jahr

Der berechnete Nutzwärmeverbrauch Warmwasser und der Heizwärmeverbrauch werden über das Jahr verteilt.

A-1.3.1 Nutzwärmeverbrauch Warmwasser

Für die Berechnungen wird angenommen, dass der Nutzwärmeverbrauch Warmwasser für den aktuellen und den optimierten Zustand identisch bleibt. Die Kaltwassertemperatur wird ganzjährig als konstant betrachtet (entspricht der Jahresdurchschnitt-Temperatur des jeweiligen Standortes)

Grundsätzlich wird der Nutzwärmeverbrauch Warmwasser anhand der Summenhäufigkeit der Tagesmitteltemperaturen über das Jahr verteilt. Unter der Annahme, dass der tägliche Warmwasserverbrauch während den Wintermonaten höher ist als im Sommer, wird die Verteilung zusätzlich nach dem folgenden Prinzip korrigiert: Es wird angenommen dass unter einer Aussentemperatur von 0°C 1.25-mal mehr Warmwasser verbraucht wird als bei 20°C. Dazwischen verhält sich der Verbrauch linear (Jordan E., Vajen K. 2011).

Diese Annahme hat insbesondere eine Auswirkung auf den Systemnutzungsgrad von Luft-Wasser-Wärmepumpen.

A-1.3.2 Heizwärmeverbrauch

Der berechnete Heizwärmeverbrauch wird Heizgradtag (HGT) normiert. Für die Korrektur werden die Messdaten der Meteostationen Zürich-Fluntern und Basel-Binningen auf Stundenbasis sowie die langjährigen Mittelwerte nach (SIA 381/3) verwendet.



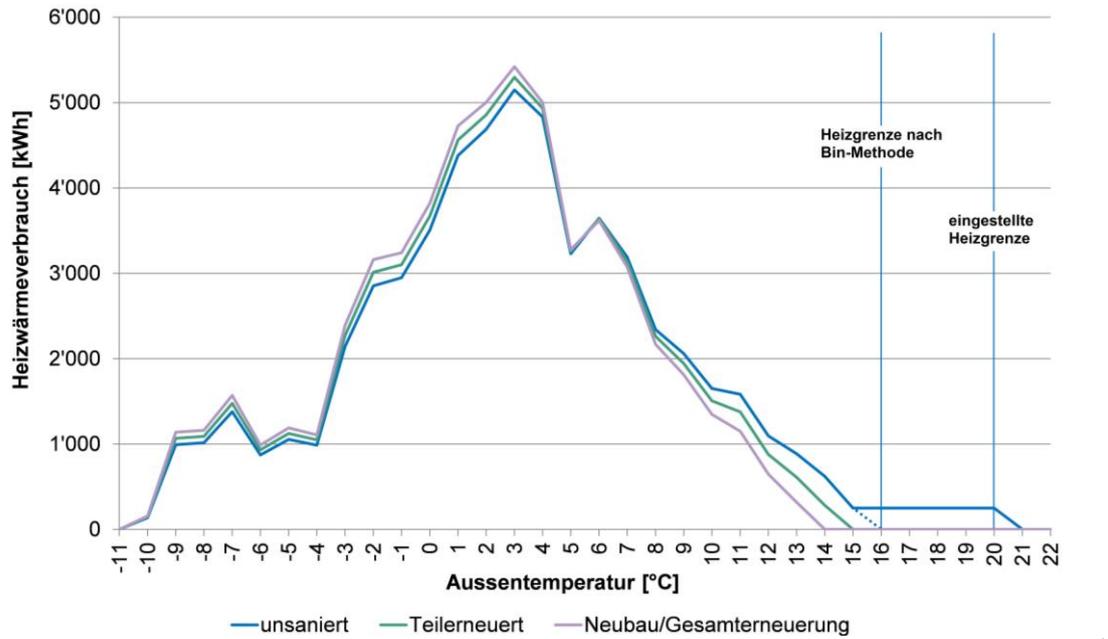
Der so korrigierte Wert bildet die Grundlage für die Verteilung des Heizwärmeverbrauchs gemäss Bin-Methode (SIA 384/3). Die Bin-Methode verteilt den Heizwärmeverbrauch eines Gebäudes anhand der Summenhäufigkeit der Aussentemperatur (Bin-Temperatur) unter Berücksichtigung der Raumtemperatur (22°C, Annahme Projektteam), der Auslegtemperatur am Objektstandort (Zürich -8°C, Basel -7°C) sowie den internen Wärmegevinne (3.1 W/m² SIA 384/3:2014) über das Jahr.

Für die Berechnung wird zusätzlich der Gesamtwärmebedarf benötigt (Summe aus Lüftungs- und Transmissionsverluste). Dieser Wert ist für die untersuchten Objekte nicht bekannt. Daher wird der Gesamtwärmebedarf durch die Multiplikation des Heizwärmeverbrauchs mit einem gebäudespezifischen Faktor multipliziert. Der Faktor bewirkt, dass mit der Verschlechterung des Dämmstandards die verbrauchte Wärmeenergie stärker in Tage mit höheren Aussentemperaturen verlagert wird (Erhöhung Heizgrenze). Die Faktoren wurden anhand einer Modellrechnung ermittelt und empirisch auf die für die entsprechende Gebäudekategorie eingesetzte Soll-Heizgrenze (vgl. Kapitel 3.3.1) angepasst.

- Neubau/Gesamterneuerung (Neubau oder vor max. 15 Jahren totalsaniert): 1.6
- Teilerneuerung (mindestens 2 Bauteile in den letzten 15 Jahren gedämmt): 1.8
- Unsaniertes Gebäude (Gebäude älter als 15 Jahre und ungedämmt): 2.0

Aus dem nach der Bin-Methode verteilten Heizwärmeverbrauch des IST-Zustandes berechnet sich auch der Heizwärmeverbrauch für den optimierten Zustand der Wärmepumpenanlage. In diesem Fall wird der bestehende Heizwärmeverbrauch linear zur Absenkung der wärmsten Heizkurve um 3 %/K reduziert. Der eingesetzte Wert wurde durch das Projektteam aus den Erkenntnissen von Tödli et al. (1987) abgeleitet. Der Einfluss der Art der Raumtemperaturregelung (z. B. Thermostatventil) wurde dabei nicht berücksichtigt.

Aus der Verteilung des Heizwärmebedarfs gemäss Bin-Methode ergibt sich eine für den Gebäudestandard typische Heizgrenze (siehe Figur 33). Liegt die tatsächlich eingestellte Heizgrenze über diesem Wert, so setzt das Modell den Heizwärmeverbrauch ab der Heizgrenze nach Bin Methode weiter ein, bis die eingestellte Heizgrenze erreicht ist. Mit diesem Vorgehen werden die Stand-by Verluste (Pumpen, Wärmepumpe, Speicherverluste) welche im Zeitraum zwischen der Heizgrenze nach Bin-Methode und der tatsächlich eingestellten Heizgrenze der Wärmepumpe entstehen, berücksichtigt.



Figur 33: Verteilung des Heizwärmeverbrauchs über das Jahr in Abhängigkeit der Gebäudekategorie.

Diese wie oben skizziert korrigierten Werte bilden die Grundlagen für die weiteren Berechnungen gemäss Punkt 2 im Berechnungsablauf (Kapitel A-1.1).

A-1.4 Berechnung Energieeinträge

A-1.4.1 Wärmepumpe (E_{WP})

Das Berechnungsmodell für die Wärmepumpe, insbesondere der Interpolation des COP's und der thermischen bzw. elektrischen Leistungen auf die unterschiedlichen Betriebspunkte wurden aus dem Excel-Tool «WPEsti» übernommen und den Bedürfnissen der vorliegenden Studie angepasst.

Auf Grund teilweise mangelnder Angaben zu den Betriebspunkten der untersuchten Wärmepumpenanlagen wurde jeweils ein für den Hersteller typischer, mittlerer COP eingesetzt. Die Grundlagen dazu stammen aus der Datenbank des «WPEsti». Es wurde angenommen, dass die Vorlauftemperatur der Heizgruppen auch derjenigen der Wärmepumpe entspricht.

Im Falle einer Erdsonden-Anlage wurde angenommen, dass sich die Sondentemperatur linear zur Aussentemperatur verhält ($0.2^{\circ}\text{C}/\text{K}$, Erb et al. 2004). Damit wird die Entladung der Sonde gegen Ende der Heizperiode berücksichtigt.



A-1.4.2 Elektroheizeinsatz (E_{EH} , Q_{WWEH})

Der Elektroheizeinsatz dient zur Nacherwärmung des Warmwassers oder der Durchführung der Legionellenschaltung. Die durch den Elektroheizeinsatz dem System thermisch zugeführte Energie entspricht 100 % Endenergie.

Die Rechenmethode zur Legionellenschaltung basiert auf deren Häufigkeit (z. B. einmal pro Tag), dem vorhandenen Speichervolumen und der Temperaturdifferenz zwischen der Warmwasserladung und der Legionellenschaltung (60 C). Im Falle einer direktelektrischen Nacherwärmung des Warmwassers entspricht der zusätzliche Endenergiebedarf des Elektroheizeinsatzes dem zusätzlichen Wärmeenergiebedarf zur Erreichung der geforderten Warmwassertemperatur.

A-1.4.3 Notheizung (E_{NH} , Q_{hNH})

Die Notheizung dient der Sicherstellung der Heizwärmeversorgung in Notsituationen (Ausfall der Heizung) oder im Falle von Luft-Wasser-Wärmepumpen bei der Unterschreitung einer bestimmten Aussentemperatur.

Der Endenergiebedarf der Notheizung entspricht dem Wärmeenergiebedarf der Heizwärme (inkl. Speicher und Verteilverluste) unterhalb der Aussentemperatur-Ausschaltgrenze der Wärmepumpe.

A-1.4.4 Warmhalteband (E_{WB} , Q_{WWEB})

Das Warmhalteband wird anstelle einer Zirkulationsleitung eingesetzt, um die Anforderungen an den Komfort (Ausstosszeiten) sicherzustellen.

Der Energieeintrag durch das Warmhalteband entspricht dem Energieverlust für die Temperaturhochhaltung wie sie in Kapitel A-1.5.3 beschrieben ist. Im Falle einer zum Vergleich des Warmwasser-Speichers überhöhten Temperatur des Warmhaltebandes wurde zusätzlich eine einmalige, direktelektrische Erwärmung des jährlichen Warmwasserverbrauchs um die Temperaturdifferenz vom Warmhalteband zum Warmwasserspeicher einberechnet.

A-1.4.5 Solarthermie (Q_{hSol} , Q_{WWSol})

Die thermischen Erträge aus einer allfälligen Solarthermie-Anlage wurden basierend auf der Absorberfläche, der Ausrichtung der Anlage und dem Ertrag pro m^2 Absorberfläche berechnet. Weiter wurde der Ertrag prozentual auf Warmwasser und Raumwärme verteilt und anhand der Häufigkeitsverteilung der Globalstrahlung in Abhängigkeit von der Aussentemperatur über das Jahr verteilt.



Wo keine Messdaten betreffend den Erträgen pro m² Absorberfläche und der Aufteilung auf Raumwärme und Warmwasser vorhanden waren, wurden die fehlenden Angaben mit externen Simulationsmodellen berechnet oder abgeschätzt.

In der JAZ 4 wird der Nutzenergieverbrauch (Q_h , Q_{WW}) als Bezugsgrösse verwendet und die Solarthermie ist darin ebenfalls enthalten. Deshalb wurde für die Berechnung der Ertrag aus der Solaranlage so berücksichtigt, als wäre diese Wärme ebenfalls mit der Wärmepumpe erzeugt worden. Dadurch wird der berechnete Elektrizitätsverbrauch höher als in der Realität. Dennoch bietet das Modell die beste Möglichkeit zur Berücksichtigung des Solarertrags ohne die JAZ 4 im Vergleich zu den anderen Objekten zu verfälschen. Im Objektsample sind fünf Anlagen mit Solarthermie vorhanden.

A-1.4.6 Hilfsenergie für Umwälzpumpen und Ventilatoren

Die Endenergie der Umwälzpumpen und Ventilatoren wird wie folgt berücksichtigt.

Umwälzpumpe	Annahmen
Solepumpe (ESP)	10 % in Bezug auf Antriebsenergie WP (WW und HW) Braundgardt et al. (2013), Miara et al (2011)
Ventilator (EV)	5 % in Bezug auf Antriebsenergie WP (WW und HW) Braundgardt et al. (2013), Miara et al (2011)
Umwälzpumpe Heizwärme Speicher (EUP)	Näherungswert gemäss SIA 384/3:2013
Heizgruppenpumpe (EHG)	Näherungswert gemäss SIA 384/3:2013
Ladepumpe Warmwasser (ELP)	Näherungswert gemäss SIA 384/3:2013
Zirkulationspumpe (EZP)	Leistung gemäss Typenschild, eingestellter Stufe und Betriebszeit

Tabelle 24: Annahmen zum Endenergiebedarf der Umwälzpumpen und Ventilatoren

A-1.4.7 Gewichtung der Energieträger

Die Energieträger werden gemäss den Gewichtungsfaktoren nach Minergie gewichtet. Alle untersuchten Objekte werden nur mit Strom betrieben. Der Gewichtungsfaktor nach Minergie²² für Elektrizität ist 2.

A-1.5 Berechnung Energieverluste

A-1.5.1 Speicher und Verteilverluste Heizwärme (Q_{hSp} , Q_{hVert})

Die Speicher- und Verteilverluste des Heizwassers werden anhand von Prozentwerten berücksichtigt. Sie gelten als nicht heizungswirksam. Für die Speicherverluste wird, sofern ein Heizungsspeicher vorhanden ist, ein Standard Wert von 2 % (Huber und Stalder 2017) in Bezug auf den Heizwärmeverbrauch berücksichtigt. Im Falle der Verteilverluste

²² Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A®, Minergie Schweiz, Version 2017.2



wird ein Wert von 5 % (Erfahrungswert Projektteam), ebenfalls in Bezug auf den Heizwärmeverbrauch verwendet.

A-1.5.2 Speicherverluste Warmwasser (Q_{WWSp})

Die Speicherverluste Q_{WWSp} werden gemäss Kapitel 5.3.4 der Studie «Methode zur Berechnung des Jahresenergieverbrauches von Warmwasseranlagen» von Weber et al. 2006 berechnet. Die Methode basiert auf dynamischen Simulationen, ist jedoch ein statisches Berechnungsverfahren. Die Verluste werden als nicht heizungswirksam betrachtet.

Die Berechnung erfolgt in zwei Schritten. In einem ersten Schritt werden die Transmissionsverluste des Speichers auf Trinkwassertemperatur über 24 h aus den Parametern Warmwassertemperatur, Speichervolumen, Speicherumgebungstemperatur (20°C), Wärmedämmstärke und Leitfähigkeit der Wärmedämmung (Hartschaum 0.03 W/mK, Weichschaum 0.04 W/mK) sowie der Anzahl warmer Anschlüsse berechnet (Verlustbeiwert 0.6 W/K (Lauber A. 2017)). Allfällige Zeitschaltpläne (Trinkwassertemperatur Nacht) werden nicht berücksichtigt.

Anschliessend wird über einen Korrekturfaktor berücksichtigt, dass je nach Lademethode und dem Verhältnis von Warmwasserverbrauch zur Speichergrosse die Warmwassertemperatur nicht während 24 h konstant ist. Es wird zwischen den Methoden Register-, Magro- und Stufenladung unterschieden.

In der vorliegenden Studie wurde die Berechnung sowohl für die Warmwassertemperatur als auch für die Temperatur der Legionellenschaltung durchgeführt. Durch das Umrechnen der Energieverluste auf Leistungswerte wurden die Verluste nach Warmwassertemperatur und Temperatur der Legionellenschaltung anhand der zeitlichen Häufigkeit der einzelnen Temperaturniveaus verteilt.

A-1.5.3 Energieverlust Temperaturhochhaltung (Q_{WWTTh})

Die Verluste der warmgehaltenen Leitungen Q_{WWTTh} werden gemäss Kapitel 5.3.3 der Studie «Methode zur Berechnung des Jahresenergieverbrauches von Warmwasseranlagen» von Weber et al. 2006 berechnet. Die Methode basiert auf dynamischen Simulationen, ist jedoch ein statisches Berechnungsverfahren. Die Verluste werden als nicht heizungswirksam betrachtet.

Die Verlustleistung berechnet sich aus einer Angabe zum Dämmstandard (tief, hoch, mittel; der Standardwert «mittel» entspricht den Dämmvorschriften nach MuKE 2008), der Hochhaltetemperatur, der Umgebungstemperatur (22°C), der Länge der warmgehaltenen Leitungen, der Leitungsdimension, einer Betriebszeit von 24 h und dem Einfluss unterschiedlicher Standard-Zapfprofile (1 Wohnung, 3 Wohnungen, 3 bis 5 Wohnungen, 5 bis 10 Wohnungen, mehr als 10 Wohnungen). Der berechnete Wert wird anschliessend auf die effektiv eingestellte Betriebszeit in den Objekten umgerechnet. Die Erhöhung der



Warmwassertemperatur in der warmgehaltenen Leitung auf Grund einer Legionellen-schaltung im Speicher wird in der Berechnung nicht berücksichtigt. Je nach Dauer der Erhöhung (wöchentlich, täglich, stetig) können diese Verluste ein relevantes Ausmass annehmen. Die stetige Erhöhung der Warmwassertemperatur in der Zirkulationsleitung um 1 K erhöht den Wärmeverlust um ca. 2.5 %. Die Warmhalteverluste werden als nicht heizungswirksam betrachtet. Des Weiteren wird unterschieden, ob es sich bei den warmgehaltenen Leitungen um eine Zirkulationsleitung oder ein Warmhalteband handelt.

In der vorliegenden Studie wurden die einfachen Leitungslängen der Zirkulation und des Warmhaltebands anhand der folgenden Annahmen berechnet.

Parameter	Annahme
Anzahl Steigzonen pro 100 m ² Grundfläche	1.5
Leitungslängen Verteilleitungen Keller pro m ² Grundfläche	1 lfm pro 20 m ²
Anzahl Stockwerke	Objektspezifisch
Durchschnittliche Geschosshöhe	Objektspezifisch

Tabelle 25:

Die ermittelten Wärmeverluste wurden in Leistungswerte umgerechnet und basierend auf dem Summenhäufigkeitsdiagramm der Aussentemperatur über das Jahr verteilt.

A-1.6 Datenplausibilisierung IST-Zustand

Bei der Datenplausibilisierung des IST-Zustandes wurden die gemessenen und berechneten Daten betreffend deren Plausibilitätsgehalt untersucht. Dazu wurden die Daten mit Erwartungswerten und den übrigen Anlagen des Samples verglichen.

Zur Plausibilisierung der Eingabewerte, insbesondere der gemessenen Energieverbräuche sowie des Vergleichs der gemessenen mit den berechneten Werten, wurde eine Plausibilisierungstabelle erstellt. Die Tabelle hatte zum Ziel, sämtliche Werte rasch betreffend grossen Abweichungen im Vergleich zu Mess- und Erwartungswerten zu überprüfen. Dazu wurden für die Kennzahlen Grenzwerte definiert. Wichen die Werte von diesen Vorgaben ab, so wurden sie in der Tabelle farblich markiert. Die verwendeten Grenzwerte sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.



Kennzahl	Min. Wert	Max. Wert	Max. Abweichung der Berechnung zu Messung
Stromverbrauch gemessen (nur WP Zähler)	15 kWh/m2a	40 kWh/m2a	
Stromverbrauch berechnet (nur WP Zähler)			20 %
Wärmeproduktion WP gemessen	50 kWh/m2a	150 kWh/m2a	
Wärmeproduktion WP berechnet			20%
Warmwasserverbrauch gemessen	10 kWh/m2a	25 kWh/m2a	
Warmwasserverbrauch berechnet			20 %
Anteil Warmwasser an Wärmeproduktion gemessen	15 %	40 %	
Anteil Warmwasser an Wärmeproduktion berechnet			20%
Raumwärmeverbrauch gemessen	40 kWh/m2a	130 kWh/m2a	
Raumwärmeverbrauch berechnet			20 %
JAZ gemessen	2.5	4	
JAZ berechnet			10 %

Tabelle 26: Darstellung der maximal zulässigen Abweichung/Wertvorgabe der Berechnungswerten zu den Messwerten.

Bei einer Auffälligkeit wurden primär die aufgenommenen Parameter und die eingegebenen Energieverbräuche überprüft. Konnte im Falle einer übermässigen Abweichung der gemessenen und der berechneten Daten keine Erklärung gefunden werden, so wurde der berechnete Wert anhand von Korrekturfaktoren im Berechnungsmodell empirisch den gemessenen Werten angeglichen.

Neben der tabellarischen Plausibilisierung wurden die Werte und Kennzahlen auch graphisch ausgewertet. Die graphische Plausibilisierung hat gegenüber der tabellarischen den Vorteil, dass Ausreisser einfacher erkennbar sind und sich auch gewisse Zusammenhänge (z. B. Wärmeverlust in Abhängigkeit der Speichergrösse) analysieren lassen. Für die graphische Auswertung wurden nur berechnete Werte verwendet. Folgende Daten wurden ausgewertet.



Indikator	Erwartetes Ergebnis
Speicherverlust Warmwasser in Wh/l in Abhängigkeit des Boilervolumens	Grosse Speicher verlieren pro Liter Boilervolumen weniger Energie als kleine. Die Speicherverluste werden hauptsächlich von der Speichertemperatur und der Anzahl der warmen Anschlüsse beeinflusst.
Verluste in W/m der Temperaturhochhaltung in Abhängigkeit der Technologie (Zirkulation, Warmhalteband) und des Temperaturniveaus	Die Verluste der Temperaturhochhaltung verhalten sich sowohl bei der Zirkulationsleitung als auch beim Warmhalteband linear zur Hochhaltetemperatur.
JAZ 2 und JAZ 4 in Abhängigkeit der Gebäudekategorie (Neubau/Gesamterneuerung, Teilerneuerung, Unsaniert)	Es besteht keine Korrelation zwischen der JAZ 2 oder 4 mit der Gebäudekategorie. Ausreisser lassen sich aber erkennen.
Energiekennzahl Wärme in Abhängigkeit der Gebäudekategorie (Neubau/Gesamterneuerung, Teilerneuerung, Unsaniert)	Objekte mit gleicher Gebäudekategorie im selben Bereich.
Energiekennzahl Endenergie in Abhängigkeit der Gebäudekategorie (Neubau/Gesamterneuerung, Teilerneuerung, Unsaniert)	

Tabelle 27: Indikatoren zur Plausibilisierung der Datenqualität

Wichen bei der graphischen Plausibilisierung Werte vom erwarteten Ergebnis oder von der Mehrzahl der anderen Resultate ab, so wurde der entsprechende Datensatz bzw. dessen Ausgangswerte analog zur tabellarischen Plausibilisierung nochmals überprüft und gegebenenfalls angepasst.



A-2 Fragebogen zum Betrieb der Anlage

Bitte kreuzen Sie die zutreffenden Antworten an und ergänzen Sie bei Bedarf die notwendigen Angaben. Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

1) Wie lautet der Auftrag der für die Anpassung der Einstellungen der Wärmepumpe zuständigen Person/en gemäss Pflichtenheft (implizites oder explizites Pflichtenheft)? Mehrfachantwort möglich

- Sicherstellung des störungsfreien Betriebs
- Sicherstellung eines energieoptimierten Betriebs
- Anpassungen der Einstellungen nur auf Betreiben der Verwaltung vornehmen.
- Anpassungen der Einstellungen nur auf Betreiben der Eigentümerschaft vornehmen.
- Das Pflichtenheft definiert genau, welche Anpassungen selbständig vorgenommen werden dürfen/sollen. Nämlich: _____

- Das Pflichtenheft enthält keine Vorgaben zum Umgang mit Heizungs- und Warmwassereinstellungen
- Anderes: _____
- Weiss nicht

2) Bitte geben Sie an, ob die nachfolgenden Aussagen auf die hier vorliegende Anlage für Heizung und Warmwasser zutreffen.

- a. Die Eigentümerschaft gibt vor, dass nur der Hersteller Einstellungen ändern darf.
 - Trifft zu
 - Trifft nicht zu
 - Weiss nicht
- b. Der Servicevertrag gibt vor, dass nur die Servicefirma Einstellungen ändern darf.
 - Trifft zu
 - Trifft nicht zu
 - Weiss nicht
- c. Die Bewohnerschaft reagiert empfindlich auf Komforteinbussen bezüglich Warmwasser-Ausstoss (wenn Warmwasserausstoss lange dauert)



- Trifft zu
- Trifft nicht zu
- Weiss nicht

d. Es sind schon Warmwasser-Engpässe vorgekommen.

- Trifft zu
- Trifft nicht zu
- Weiss nicht

3) Wurde ein gewisser Sollwert für die Raumtemperatur in den Wohnungen festgelegt, der bei Bedarf gewährleistet werden muss?

- Ja und zwar _____ °C
- Nein
- Weiss nicht

4) Was würde aus Ihrer Sicht dazu führen, dass diese Heizungs- und Warmwasseranlage langfristig immer energetisch optimal betrieben wird? Mehrfachantwort möglich

- Wenn eindeutig geklärt wäre, wer für den optimalen Betrieb zuständig ist.
- Wenn die zuständig(en) Person(en) besser über die Parameter eines optimalen Betriebs informiert würden.
- Aus- oder Weiterbildung der zuständig(en) Person(en)
- Wenn regelmässig eine Fachperson beigezogen werden könnte.
- Zusätzliche Messgeräte, die eine Analyse des Betriebs erleichtern.
- Eine einfachere Bedienung der Wärmepumpensteuerung.
- Ein ausdrücklicher Wunsch der Eigentümerschaft zur energetischen Optimierung im Betrieb.
- Ein spezifischer Auftrag (inkl. Budget) der Eigentümerschaft zur energetischen Optimierung im Betrieb.
- Bewohner/innen, die kurzfristige Komforteinbussen in der Optimierungsphase (zur «Einregulierung») tolerieren.
- Eine finanzielle Förderung der Betriebsoptimierung (durch die öffentliche Hand).
- Anderes, nämlich: _____
- Nichts, die Anlage wird aus meiner Sicht energetisch optimal betrieben.



A-3 Muster einer Optimierungsempfehlung

LEMON · CONSULT

econcept
Forschung / Beratung / Evaluation

ENERGIE
ZUKUNFT
SCHWEIZ

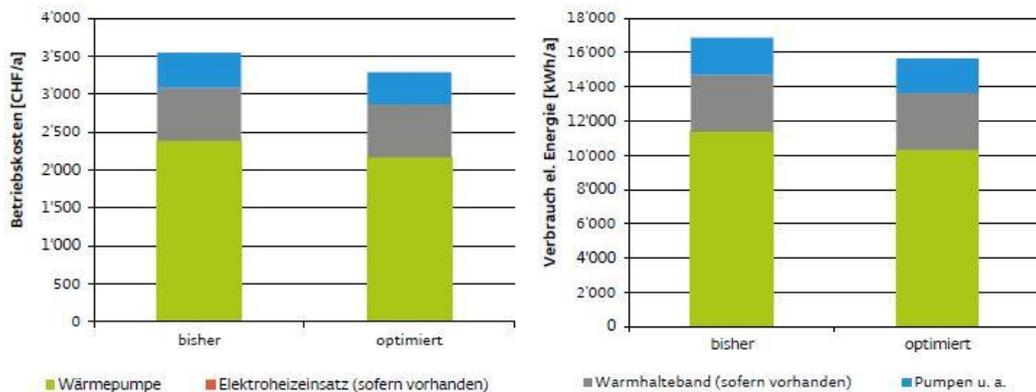
Potenzial Betriebsoptimierung

Forschungsprojekt Wärmepumpen-Gap

Objektstandort

Optimierungs Potenzial

Die dargestellten Kosteneinsparungen durch die Optimierung wurden mit einem mittleren Stromtarif von 21 Rp./kWh berechnet.



Das Einsparpotenzial beträgt 7 %

Reduktion Kosten 300 CHF/a

Reduktion el. Energie 1'200 kWh/a

Anlageparameter	bisher	optimiert
Warmwasserladung		
Temperatur Warmwasser	53.0 °C	50.0 °C
Temperaturhochhaltung Warmwasser		
Hochhaltetemperatur in den Leitungen	45.0 °C	45.0 °C
Legionellenschaltung		
Anzahl Legionellenschaltungen	nicht vorhanden	nicht vorhanden
Temperatur Legionellenschaltung	-	-
Raumwärme		
Heizgrenze	17.0 °C	14.0 °C
Heizkurve	Aussentemp. Vorlauftemp.	Aussentemp. Vorlauftemp.
	-10 °C 35 °C	-8 °C 33 °C
	20 °C 22 °C	20 °C 20 °C

Anlagenbewertung

Diese Anlage ist bereits gut eingestellt. Die im Rahmen der Begehung ermittelten Optimierungsvorschläge für die betrachteten Parameter finden Sie in der Spalte mit den optimierten Anlageparametern. Sie können die Anpassungen, welche die Wärmepumpe betreffen, unter telefonischer Anleitung des Wärmepumpen Herstellers selbst vornehmen oder Ihren Heizungsinstallateur oder den Service-Techniker der Anlage darum bitten. Bei Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Disclaimer

Die hier durchgeführten Berechnungen von Energieverbrauch und Einsparpotenzial in Abhängigkeit der Betriebsparameter sowie die vorgeschlagenen Temperaturanpassungen basieren teilweise auf Annahmen und den Erfahrungen des Projektteams. Dies kann zu Ungenauigkeiten insbesondere bezüglich der absoluten Werte führen. Es ist möglich, dass die vorgeschlagenen Temperaturen am konkreten Objekt aus Komfortgründen nicht umgesetzt werden können.

econcept

Figur 34: Beispiel einer an die Eigentümerschaften versandten Optimierungsempfehlung Seite 1



Allgemeine Anmerkungen

Grundsätzliches zur Betriebsoptimierung

Eine Betriebsoptimierung hat zum Ziel, durch eine Anpassung der Anlagenparameter den Energieverbrauch zu reduzieren, ohne den Komfort der Nutzenden einzuschränken. Um dieses Ziel zu erreichen wird empfohlen, die Anlagenparameter in einem Abstand von ungefähr zwei Wochen schrittweise abzusenken, bis die ersten Komfortprobleme auftreten. Zu diesem Zeitpunkt wird die zuletzt vorgenommene Anpassung des jeweiligen Parameters rückgängig gemacht. Dann ist die optimale Einstellung erreicht. Um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, sind die angepassten Parameter in einem Anlagenjournal zu protokollieren. Nach einer Veränderung der Raumnutzung oder der Gebäudehülle (z.B. Wärmedämmung) oder spätestens nach einer Zeitdauer von fünf Jahren sollte erneut eine Betriebsoptimierung durchgeführt werden.

Betriebsoptimierung Warmwasser

Warmwasserladung

Die Begrenzung der Warmwassertemperatur auf 50 °C ist energetisch sinnvoll und deckt die Komfortansprüche der Bewohnenden.

Die Warmwassertemperatur kann im Abstand von wenigen Tagen um jeweils 2 °C abgesenkt werden. Die Absenkung sollte ausserhalb von Ferienzeiten und tendenziell im Winterhalbjahr erfolgen.

Temperaturhochhaltung Warmwasser

Die Temperaturhochhaltung Warmwasser dient dazu, die Ausstosszeit an der Zapfstelle zu verkürzen. Dies wird im vorliegenden Fall durch ein Warmhalteband sichergestellt. Zur Sicherstellung des Komforts reichen 45°C in den Leitungen aus. Die Temperatur des Warmhaltebandes kann nur durch eine entsprechende Steuerung verändert werden. Um zu erfahren, ob Ihnen diese Option zur Verfügung steht, wenden Sie sich bitte an den Installateur oder Hersteller des Warmhaltebandes.

Legionellenschaltung

Die Legionellenschaltung ist eine thermische Präventionsmassnahme zur Verhinderung einer Kontamination des Trinkwarmwasser mit Legionellen. Legionellen sind gesundheitsgefährdende Bakterien, welche im Falle einer Infektion zu einer Lungenerkrankung (Legionellose) führen können. Die Erreger kommen natürlicherweise in fast allen wässrigen und feuchten Umgebungen vor und können sich besonders gut in Wassersystemen vermehren, in denen das Wasser nicht konstant erneuert wird – also in stehendem Wasser – und sich die Temperatur zwischen 25 °C und 45 °C bewegt (Whirlpools, Luftbefeuchter, Duschköpfe, etc.). Die Ansteckung erfolgt nur beim Einatmen von zerstäubten Wassertröpfchen, die bestimmte Legionellentypen enthalten.

Gemäss der heute gültigen Norm SIA 385/1:2011 müsste Trinkwasser in Mehrfamilienhäusern, das bei einer Temperatur von 25°C bis 50°C während mehr als 24 Stunden nicht genutzt wird, einmal täglich während einer Stunde auf 60°C erhitzt werden. Diese Massnahme wirkt sich stark negativ auf die Effizienz der Wärmepumpenanlage und somit auf den Energieverbrauch und die Energiekosten aus. Aus energetischen Gründen empfiehlt sich daher auf eine tägliche Legionellenschaltung zu verzichten und stattdessen das Trinkwarmwassersystem periodisch auf eine Kontamination mit Legionellen beproben zu lassen. Für die Sicherstellung des hygienisch einwandfreien Betriebes der Warmwasseranlage ist in jedem Fall der Eigentümerschaft verantwortlich.

Betriebsoptimierung Raumwärme

Heizgrenze

Die Heizgrenze bezeichnet diejenige Aussentemperatur, bei welcher der Heizbetrieb zur Bereitstellung von Raumwärme ausgeschaltet wird. Die Erzeugung von Warmwasser wird dadurch nicht beeinflusst. Auf Grund von Wärmequellen innerhalb des Gebäudes (Bewohner, elektronische Geräte, ...) liegt die Heizgrenze unter der Wohnraumtemperatur.

Zur Optimierung sollte die Heizgrenze während der Übergangszeit (Frühling, Herbst) bei Aussentemperaturen zwischen 10-20°C in mehreren Schritten von 1°C abgesenkt werden.

Heizkurve

Die Heizkurve reguliert die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe und, sofern vorhanden, auch der verschiedenen Heizgruppen in Abhängigkeit von der Aussentemperatur.

Die Temperaturen der Heizkurve sollten während der kalten Jahreszeit (Aussentemp <10°C) in Abständen von ca. zwei Wochen schrittweise um jeweils 2-3°C abgesenkt werden.



Literatur

Primärliteratur

Merkblatt SIA 2048 Energetische Betriebsoptimierung, 2015

Norm SIA 385/1 Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden - Grundlagen und Anforderungen, 2011

Norm SIA 385/2 Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden - Warmwasserbedarf, Gesamtanforderungen und Auslegung, 2015

Norm SIA 381/3 Heizgradtage der Schweiz (2001-2010)

Norm SIA 384/3 Heizungsanlagen in Gebäuden – Energiebedarf, 2013

Vernehmlassungsentwurf Norm SIA 385/1 Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden - Grundlagen und Anforderungen, Vernehmlassungsfrist August 2016

Dokumentation SIA 0244. Anlagen für Trinkwasser in Gebäuden. Erläuterungen zu den Normen SIA 385/1 und SIA 385/2. 2015

Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen TBDV, noch nicht publiziert

Verordnung über die Miete und Pacht von Wohn- und Geschäftsräumen (VMWG) vom 9. Mai 1990 (Stand am 1. Juli 2014)

Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV) 814.81 vom 18. Mai 2005 (Stand am 1. Februar 2017)

Sekundärliteratur

Amt für Hochbauten Stadt Zürich (2011): Selg J., Wolfensberger R., Sprecher F.: Supervision für die Gebäudetechnik. 4.2011

Artho J., Jenny A. und Karlegger A. (2012): Wissenschaftsbeitrag. Energieforschung Stadt Zürich. Bericht Nr. 6, Forschungsprojekt FP-1.4, 223 S

Bundesamt für Gesundheit (2009): Legionellen und Legionellose. März 2009

Bundesamt für Gesundheit (2006a): Delaporte E. Hugonnet S., Marquet F.: Sporadische Fälle von im Alltag erworbener Legionellose, Genf 2003-04: Wasserproben aus Wohnungen bringen wenig. Bulletin 30/06. Juni 2006.



Bundesamt für Gesundheit (2006b): Christensen S., Witschi A., Gautsch S., Herrmann A.: Legionellenerkrankung in Basel-Stadt 2002-2004: Umgebungsuntersuchung im privaten Umfeld. Bulletin 30/06. Juni 2006.

Bundesamt für Statistik (2017): Todesfallstatistik Legionellose 1995-2014, Mai 2017

Bundesamt für Umwelt (2006): Horisberger B., Rentsch C., Nötzli J., Sommer D., Burger F.: Wegleitung betreffend stationäre Anlagen und Geräte mit Kältemitteln. Wartungsheft, Dichtigkeitskontrolle, Meldepflicht. Umwelt-Vollzug Nr. 06 15. 2. aktualisierte Auflage, Bern 2006

Braungardt S., Günther D., Miara M., Wapler J. (2013): Elektrisch angetriebene Wärmepumpen, Aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Feldtests. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE im Auftrag von BINE-Informationdienst: Erschienen in BINE-Themeninfo 1/2013.

Borella P. Montagna MT et al. Legionella infection risk from domestic hot water. Available at <http://cdc.gov/eid> März 2004

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie (Hrsg.) (2002): Grundlagen für die Betriebsoptimierung von komplexen Anlagen (BOk). Bern, Oktober 2002

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie (Hrsg.) (2012): Der Heizkompass für Hauswärtinnen und Hauswarte. 8.2012

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie (Hrsg.) (2016a): Merkblatt für Fachleute der Bereiche Sanitär, Elektro und Architektur. ELEKTRISCHE HEIZBÄNDER, 4.2016

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie (Hrsg.) (2016b): Leistungsgarantie Haustechnik. 08.2016

Erb M., Hubacher P., Ehrbar M. (2004): Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen – FAWA 1996-2003. Dr.Eicher+Pauli AG und Hubacher Engineering im Auftrag des Bundesamts für Energie. April 2004

Galliati M., Knüsel P. (2011): Schlussbericht Nutzerverhalten beim Wohnen. Analyse, Relevanz und Potenzial von Massnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs. Galliati Kommunikation und Faktor Journalisten im Auftrag des Amts für Hochbauten Stadt Zürich, 7.2011

Gupta R., Gregg M., Cherian R. (2013): Tackling the performance gap between design intent and actual outcomes of new low/zero carbon housing. ECEEE SUMMER STUDY PROCEEDINGS. 2013

Hammer S., Wunderlich A., Angst V., Oettli B., Sträuli C., Iten R., Mastronardi A., Gutschner M. (2016a): Evaluation des Vereins energo. INFRAS und NET Nowak Energie & Technologie AG im Auftrag des Bundesamts für Energie. 18.5.2016



Hammer S., Jakob M. (2016b): Instrumente zur Umsetzung von Effizienzmassnahmen in der Gebäudetechnik. INFRAS und TEP Energy im Auftrag des Bundesamts für Energie, 25.10.2016

Hubacher P., Bernal C. (2012): QS-WP/QP: Fortsetzung des Feldmonitorings von WP-Anlagen mittels Feldmessungen, Analyse des Langzeitverhaltens und Bestimmung der Effizienz für das Modell der Wärmepumpenstatistik für die Jahre 2008 bis 2011. Hubacher Engineering im Auftrag des Bundesamts für Energie, Mai 2012

Hubacher P., Bernal C. (2015): Feldmessungen an leistungsgeregelten Wärmepumpen und Warmwasser-Wärmepumpen. Hubacher Engineering im Auftrag des Bundesamts für Energie, 30.6.2015

Hubacher P., C. Bernal, A. Schmitter, A. Freymond, M. Generelli (2017): Bericht «Feldkontrollen». Feldkontrollen von nicht WP-S-M Wärmepumpenanlagen und fossilen Feuerungen. Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS im Auftrag des Bundesamts für Energie, 30.6.2017

Huber A., Stalder M. (2017): Rechenmethode WPEsti, Handbuch mit Beispielen Version 8.1, 17.05.2017

Jakob M., Catenazzi G., Melliger M., Forster R., Martius G., Ménard M. (2016): Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik. Grundlagen für ein Potenzial- und Massnahmenkonzept der Gebäudetechnik zur Reduktion von Endenergie, Primärenergie und Treibhausgasemissionen. TEP Energy im Auftrag des Bundesamts für Energie, Januar 2016

Jordan U., Vajen K. (2011): Realistische Trinkwarmwasser-Profile für bis zu 100 Wohneinheiten, Mai 2011

Kunz P., Afjei T., Betschart W., Hubacher P., Löhner R., Müller A., Prochaska V. (2008): Handbuch Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung. Bundesamt für Energie (Hrsg.). Jan. 2008

Lauber, A. (2017): Wärmeverluste durch rohrinterne Gegenstromzirkulation in Speicheranschlussleitungen, und deren Verminderung mittels Konvektionsbremse, Konvektionsperren und Wärmesiphons, Hochschule Rapperswil, 15.02.2007

Lehmann M., Meyer M., Kaiser N., Ott W. (2017): Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energieträger beim Heizungsersatz. Energieforschung Stadt Zürich, Bericht Nr. 37, Forschungsprojekt FP-2.8.

Meyer E. (2017): Legionellen-Infektionsprävention: extrem teuer und wenig effektiv. In: Krankenhaushygiene up2date 2017;12 (2): 159-175. Georg Thieme Verlag KG

Miara M., Günther D., Kramer T., Oltersdorf T., Wapler J. (2011): Wärmepumpen Effizienz - Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlage zur Analyse und Bewer-



tung der Effizienz im realen Betrieb. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Freiburg. 5.5.2011

Reimann W., Bühlmann E., Lehmann M., Bade S., Krämer S., Ott W., Montanari D., Ménard M. (2016): Erfolgskontrolle Gebäudeenergiestandards 2014-2015. DemoSCOPE AG, econcept AG und Lemon Consult AG im Auftrag des Bundesamts für Energie, 18.5.2016

Rühling K., Haupt L., Hoppe S., Löser J., Rothmann R., Lück C., Koshkolda T., Petzold M., Schreiber C., Kistemann T., Schaule G., Nocker A., Wingender J., Kallert A., Schmidt F., Sager-Klauss C., Bechem H., (unveröffentlicht): Kurzüberblick und Thesen - Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasser-Installation. Stand 1. März 2018.

SBZ, Fachgerecht sanieren 06/17, S. 64-70

Sicre B., Heim T., von Euw R. (2016): Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude. Hochschule Luzern - Technik & Architektur im Auftrag des Bundesamts für Energie, 29.2.2016

Sitzmann, Bernd (2015a): Schlussbericht Qualitätssicherung. Förderprogramm „Wärmepumpen als Ersatz bestehender Heizungen“. Energie Zukunft Schweiz im Auftrag des Amtes für Wirtschaft und Arbeit Kanton Solothurn, 27.3.2015

Sitzmann, Bernd (2015b): Konzept Qualitätssicherung Wärmepumpen 50 bis 100 kW im Mehrfamilienhaus (MFH). Energie Zukunft Schweiz im Auftrag des Bundesamts für Energie, 23.11.2015

Sitzmann, Bernd (2016): Qualitätsprüfung Wärmepumpen 2016 Kanton Basel-Stadt und Kanton Basel-Landschaft Schlussbericht. Förderjahre der geprüften Wärmepumpen: 2010 - 2014. Energie Zukunft Schweiz im Auftrag Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt und Amt für Umweltschutz und Energie Basel-Landschaft, Basel, Juni 2016

suissetec (2015): Lippuner U.: Information des Fachbereichs Sanitär|Wasser|Gas. Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden (SIA 385/1 und 385/2). Zürich, März 2015

SVW/ASC Schweizerischer Verband für Wärme- und Wasserkostenabrechnung (Hrsg.) (2016): Energetische Erfolgskontrolle in Mehrfamilienhaus-Neubauten ab 5 Bezüchern. Minergie-Standard und MuKE 2008. März 2016

SVGW Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches. Merkblatt Legionellen in Trinkwasserinstallationen – Was muss beachtet werden. undatiert

Tödli J., Gruber P., Steinle B. (1987): Heizkurve einfacher einstellen. S. 21 ff in Sonnenenergie Nr. 6. /1987



Vetsch B., Gschwend G., Bertsch S. (2012): Warmwasserbereitstellung mittels Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern. NTB Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs im Auftrag des Bundesamts für Energie. 4.1.2012

Viessmann Deutschland GmbH (Hrsg.) (2011): Planungshandbuch. Wärmepumpen. Sept. 2011

Weber A., Nipkow J., Tschui A., Poretti M. (2006): Methode zur Berechnung des Jahresenergieverbrauchs von Warmwasseranlagen. Entwicklung einer Handrechenmethode mit einfachem EXCEL-Tool. Amstein+Walthert AG, HTA Luzern und ARENA im Auftrag des Forschungsprogramms Rationelle Energienutzung in Gebäuden Bundesamtes für Energie, Zürich, 2006

Weiss A. (2004): Einfluss von *Acanthamoeba castellanii* und *Hartmannella veriformis* auf die intrazelluläre Vermehrung von Legionellen in humanen Monozyten.

WPSYSTEMMODUL. Pflichtenheft. Version: 16.4.2016.