



Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden

Forschung und Anwendung GmbH

Prof. Oschatz – Prof. Hartmann – Prof. Werdin – Prof. Felsmann

Kurzstudie

Energieeinsparungen

Digitale Heizung

Endbericht: 12.01.2017

Auftraggeber: Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH
Frankfurter Straße 720-726
51145 Köln

Auftragnehmer: ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Bayreuther Straße 29 in 01187 Dresden

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Bettina Mailach
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz

Inhalt

Inhalt	1
1 Einleitung	2
2 Analyse ausgewählter Literatur	3
2.1 Allgemeines	3
2.2 Zum Einsatz dezentraler Pumpen in Heizsystemen [1]	4
2.3 Beitrag intelligenter Messsysteme für Strom, Gas und Wärme zur CO ₂ -Minderung [2] 7	
2.4 Einschätzung der energetischen und exergetischen Einsparpotentiale von Regelverfahren in der Heizungstechnik [3]	8
2.5 Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern [4]	10
2.6 Energetische Gesamtanalyse, Bewertung und Verbesserung von komplexen HLK- Systemen für Wohngebäude unter Berücksichtigung wärmephysiologischer Aspekte [5]	12
2.7 Simulationsstudie zum Energieeinsparpotenzial einer Heizungsregelung mit Abwesenheitserkennung und Wetterprognose [6]	13
2.8 Vergleichsrechnung Zirkulationsdauer	14
2.9 Zusammenfassung und Ableitung von Einsparszenarien	15
3 Beispielrechnung: Einfamilienhaus	16
4 Einsparungen bei allen jährlich durchgeführten Heizungsmodernisierungen	18
5 Ausblick	19
6 Quellen	20

1 Einleitung

Bei der Optimierung des Gesamtsystems von Heizungsanlagen sind durch die Vernetzung der einzelnen Anlagenkomponenten bzw. die Steuerung dieser mittels Informationstechnik weitere Energieeinsparungen zu generieren. In der vorliegenden Kurzstudie wird vorhandene Literatur zu diesbezüglichen möglichen Maßnahmen analysiert:

- selbstadaptierende Heizkurveneinstellung;
- Personenerfassung (Belegung der Räume automatisch erfassen);
- Automatische Einstellung der Regelparameter mit Fehlererkennung;
- Betrieb der Zirkulationspumpe zeitlich optimieren;
- Berücksichtigung Wetterprognosen;
- Energieeinsparungen durch die Vereinfachung bei der Durchführung des hydraulischen Abgleichs
- Visualisierung von Verbrauchsdaten.

Im Ergebnis der Analyse werden mögliche Einsparungen für die Einzelmaßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen abgeleitet. Die möglichen Einsparungen bewegen sich zum Beispiel in Abhängigkeit vom Nutzerverhalten ohne digitale Heizung in einer gewissen Bandbreite, so dass eine Betrachtung unterschiedlicher Szenarien erforderlich ist. Mögliche Szenarien können sein: konservativ – mittel - optimistisch.

Beispielhaft für ein Einfamilienhaus im Bestand werden die möglichen Einsparungen an Endenergie ausgewiesen. Weiterhin werden die möglichen Gesamteinsparungen bei der Betrachtung aller jährlich durchgeführten Heizungsmodernisierungen ermittelt.

2 Analyse ausgewählter Literatur

2.1 Allgemeines

Nachfolgend aufgeführte Veröffentlichungen sollen bezüglich des möglichen Einsparpotenzials durch Optimierung der Heizung mittels Informations- und Steuertechnik untersucht werden.

Quelle	Untersuchung
[1] Zum Einsatz dezentraler Umwälzpumpen in Heizsystemen	Abdel Fattah, A. TU Dresden - Dissertation 2012
[2] Beitrag intelligenter Messsysteme für Strom, Gas und Wärme zur CO ₂ -Minderung	ITG Dresden im Auftrag Figawa e.V. November 2015
[3] Ein Beitrag zur Einschätzung der energetischen und exergetischen Einsparpotentiale von Regelverfahren in der Heizungstechnik	Seifert, J. TU Dresden - Habilitationsschrift 2009
[4] Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern	Richter, W.; Ender, T.; Hartmann, T.; Seifert, J.; u.a. TU Dresden – Abschlussbericht 2002
[5] Energetische Gesamtanalyse, Bewertung und Verbesserung von komplexen HLK-Systemen für Wohngebäude unter Berücksichtigung wärmephysiologischer Aspekte	Richter, W.; Oschatz, B. u.a.: TU Dresden, ITG Dresden, 2011
[6] Simulationsstudie zum Energieeinsparpotenzial einer Heizungsregelung mit Abwesenheitserkennung und Wetterprognose	Kersken, M.; Sinnesbichler, H.: IBP-Mitteilung 527, 2013

Für die Bewertung des Einflusses einer zeitlich optimierten Warmwasser-Zirkulation erfolgen für ein Einfamilienhaus energetische Vergleichsrechnungen.

Im Ergebnis der Literaturanalyse und der vorgenommenen Vergleichsrechnung wird für die einzelnen Optimierungsmaßnahmen das mögliche Einsparpotenzial angegeben.

2.2 Zum Einsatz dezentraler Pumpen in Heizsystemen [1]

Inhalt

In [1] sind Untersuchungen zum Einsatz von Systemen mit (vernetzten) dezentralen Pumpen und deren erweiterten regelungstechnischen Möglichkeiten vorgenommen worden. Einen Schwerpunkt bildet dabei die Ableitung des energetischen Einsparpotenzials solcher Systeme. Die Untersuchungen basieren auf einer gekoppelten dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation. Als Simulationsprogramm findet das an der TU Dresden erweiterte kommerzielle Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS [7] Anwendung.

Für die Systeme mit dezentralen Pumpen wurde an der TU Dresden ein Gesamtregelkonzept entwickelt, welches folgende Regel- und Optimierungsfunktionen enthält:

- Schnelle und präzise Raumregelung
- Erweiterte Möglichkeiten eines intermittierenden Heizbetriebes
- Integrierter hydraulischer Abgleich
- Schutz vor zu niedrigen oder zu hohen Systemtemperaturen
- Bedarfsgeführte Soll-Vorlauftemperaturregelung
- Möglichkeit der Schnellaufheizung
- Diagnose Fensterlüftung mit Heizungsunterbrechung
- Raumweise Ermittlung des optimalen Anheiz- und Abschaltzeitpunktes
- Temperierung der Heizflächen unabhängig vom Raumwärmebedarf

Zunächst werden die möglichen Energieeinsparungen unter Ansatz des Gesamtregelkonzepts (Basisvariante – Ausführung B) ermittelt. Mit der Variation einzelner Parameter wird der Einfluss einzelner Randbedingungen bzw. Kombinationen auf den Energieverbrauch aufgezeigt.

Es werden folgende (Einzel-)Optimierungsoptionen näher untersucht:

- Intermittierender Heizbetrieb
- Anheiz- und Heiz-Ende-Optimierung
- Schnellaufheizung
- Fensterlüftungserkennung
- Betriebsführung, Soll-Vorlauftemperaturregelung
- Automatischer hydraulischer Abgleich

Die Untersuchungen werden für ein Einfamilienhaus mit zwei unterschiedlichen Wärmeschutzniveaus durchgeführt:

- Neubau Wärmeschutz nach EnEV 2007
- Bestand Wärmeschutz WSchVO77

Die Ergebnisse für das Einfamilienhaus können wie folgt zusammengefasst werden [1]:

- Die absoluten Einsparungen im Bestandsgebäude sind i.d.R. höher als im Neubau
- Wegen des ohnehin niedrigen Niveaus im Neubau sind die relativen Einsparungen höher
- In Bestandsgebäuden mit schlechterem baulichen Wärmeschutz resultieren größere Möglichkeiten durch eine intermittierende Betriebsweise (Tagesabsenkung, Anheiz- und Heiz-Ende-Optimierung)
- Im Neubau resultiert das Einsparpotenzial im Wesentlichen aus der Möglichkeit der Anpassung der Soll-Vorlauftemperatur (Betriebsführung), da sich durch das gezielte Absenken der Systemtemperaturen der Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers erhöht

Auswertung

Die Simulationsergebnisse aus [1] für das Einfamilienhaus Neubau und Bestand enthalten Tabelle 1 und Tabelle 2.

In [1] werden die vergleichenden Betrachtungen der Systeme mit dezentralen Pumpen immer mit Bezug auf die Systeme mit Thermostatventil (TRV) vorgenommen. Um den Einfluss der einzelnen Optimierungsoptionen unabhängig vom Einsatz eines dezentralen Pumpensystems zu ermitteln, wird hier der Mehrverbrauch der jeweiligen Variante gegenüber der Basisvariante mit dezentralen Pumpen ausgewiesen. Die Einsparung mit Bezug auf den Gesamtverbrauch der Variante gibt das Einsparpotenzial der jeweiligen Optimierungsoption an.

Tabelle 1 Simulationsergebnisse Einfamilienhaus – Neubau, Wärmeerzeugung: BW-Wandgerät [1]

Option	Neubau Variante			Wärme- übergabe	Wärme- verteilung	Summe	Nutzungs- grad Wärme- erzeuger	Brennstoff	Mehr- verbrauch	Einspar- potenzial
				kWh/a	kWh/a	kWh/a		kWh/a	kWh/a	
	Basisvariante - Ausführung B	DZP	V000	3.772	1.234	5.006	100,7%	4.969		
	Anheizoptimierung mit Schnellaufheizern	DZP	V010	3.779	1.239	5.018	98,9%	5.074	105	2,1%
Personenerfassung (Präsenzkontrolle)	ohne Tagesabsenkung	DZP	V020	3.842	1.249	5.091	102,8%	4.954	-15	-0,3%
Betriebsführung, Soll-Vorlauftemperaturregelung	ohne Kesselansteuerung (Tag- und Nachtbetrieb wie bei TRV)	DZP	V030	3.728	1.510	5.238	92,7%	5.652	683	12,1%
Fensterdiagnose	ohne Lüftungserkennung	DZP	V040	3.750	1.293	5.043	99,9%	5.046	77	1,5%
Anheiz- und Heiz-Ende-Optimierung	ohne Anheiz- und Heiz-Ende-Option, Anheizen 1,5 h vor	DZP	V050	3.894	1.204	5.098	100,7%	5.065	96	1,9%
Automatischer hydraulischer Abgleich	vereinfachter hydraulischer Abgleich	DZP	V100	3.778	1.330	5.108	99,6%	5.127	158	3,1%
Kombinationen mehrerer Optionen	ohne Tagesabsenkung, ohne Anheiz- und Heiz-Ende-Option, Anheizen 1,5 h vor, ohne Kesselansteuerung (Tag- und Nachtbetrieb wie bei TRV), ohne Lüftungserkennung	DZP	V060	3.779	1.790	5.569	93,5%	5.958	989	16,6%

Tabelle 2 Simulationsergebnisse Einfamilienhaus – Altbau, BW-Wandgerät [1]

Option	Altbau Variante			Wärme- übergabe	Wärme- verteilung	Summe	Nutzungs- grad Wärme- erzeuger	Brennstoff	Mehr- verbrauch	Einspar- potenzial
				kWh/a	kWh/a	kWh/a		kWh/a	kWh/a	
	Basisvariante - Ausführung B	DZP	V000	24.111	4.760	28.871	101,6%	28.408		
	Anheizoptimierung mit Schnellaufheizern	DZP	V010	23.915	4.750	28.665	99,5%	28.806	398	1,4%
Personenerfassung (Präsenzkontrolle)	ohne Tagesabsenkung	DZP	V020	24.661	4.703	29.364	102,5%	28.645	237	0,8%
Betriebsführung, Soll-Vorlauftemperaturregelung	ohne Kesselansteuerung (Tag- und Nachtbetrieb wie bei TRV)	DZP	V030	24.097	5.182	29.279	99,6%	29.382	974	3,3%
Fensterdiagnose	ohne Lüftungserkennung	DZP	V040	24.205	4.818	29.023	101,7%	28.544	136	0,5%
Anheiz- und Heiz-Ende-Optimierung	ohne Anheiz- und Heiz-Ende-Option, Anheizen früh 3 h vor, abends 2 h vor	DZP	V050	24.709	4.541	29.250	101,5%	28.811	403	1,4%
Automatischer hydraulischer Abgleich	vereinfachter hydraulischer Abgleich	DZP	V100	24.215	4.991	29.206	100,6%	29.020	612	2,1%
Kombinationen mehrerer Optionen	ohne Tagesabsenkung, ohne Anheiz- und Heiz-Ende-Option, Anheizen 3 h vor, ohne Kesselansteuerung (Tag- und Nachtbetrieb wie bei TRV), ohne Lüftungserkennung	DZP	V060	25.251	5.720	30.971	99,8%	31.038	2.630	8,5%

2.3 Beitrag intelligenter Messsysteme für Strom, Gas und Wärme zur CO₂-Minderung [2]

Inhalt

Mit intelligenten Messsystemen können Energieeinsparungen durch eine webbasierte unterjährige Verbrauchsinformation der Nutzer/Bewohner initiiert werden. Im Kurzgutachten [2] werden u.a. vorhandene Veröffentlichungen bezüglich möglicher Einsparungen durch eine visualisierte Verbrauchskontrolle analysiert. Derzeit gibt es jedoch noch wenig diesbezügliches Datenmaterial. Ausgewertet werden konnten die „Wirkungs- und Akzeptanzanalyse von EDMpremium“ [8] sowie die vorliegenden Ergebnisse des „Modellvorhaben Bewusst heizen, Kosten sparen“ [9], [10]. Die jeweiligen Ergebnisse werden wie folgt zusammengefasst:

„Wirkungs- und Akzeptanzanalyse von EDMpremium“

- Klimabereinigte Verbräuche bei Nutzern der webbasierten Auswertung sinken deutlich (-14 %), während der Verbrauch bei den Nicht-Nutzern fast konstant bleibt (+2 %)
- Annäherung der Verbräuche der Nutzer untereinander (Vielverbraucher – Sparer)
- In Summe über alle Objekte konnte eine klimabereinigte Reduktion von 5,4 % bilanziert werden, Teilnahme: 37 Mieter von 104 Haushalten (35,5 %)

„Modellvorhaben Bewusst heizen, Kosten sparen“ (Stand nach Heizperiode 2013/2014):

- Verbrauchssenkung der Teilnehmer gegenüber der Referenzgruppe um 9 %
- Allen Miethaushalten stand die Teilnahme am Programm offen, bezieht man daher die Verbrauchssenkung der Teilnehmer von 9 % auf alle Mieter (Teilnehmer und Nichtteilnehmer am Modellprojekt) ergibt sich eine durchschnittliche Verbrauchssenkung an Raumwärme von 1,9 % über alle Miethaushalte
- klimabereinigte Reduktion des Heizungsverbrauchs gegenüber Heizperiode 2012/2013 bei den Teilnehmern um 16 % und bei der Referenzgruppe um 7 %.

Die vorliegenden Untersuchungen/Feldtests beziehen sich ausschließlich auf den Verbrauch von Raumwärme, Erkenntnisse für potenzielle Einsparungen am Warmwasserverbrauch durch eine ständige Verbrauchskontrolle oder unterjährige Abrechnung lagen der Untersuchung nicht vor.

Entsprechend [2] lassen sich so aus den bisherigen Untersuchungen keine belastbaren Erkenntnisse zur Höhe der zu erwartenden mittleren Einsparungen am Wärme und Warmwasserverbrauch ableiten.

Auswertung

In [2] wird ein mittleres Einsparpotenzial von 5 % am gesamten Endenergieverbrauch Wärme für Heizung und Warmwasser zu Grunde gelegt, mit Hilfe von Szenarien wird ein weiterer möglicher Bereich betrachtet.

Tabelle 3 angesetzte Einsparungen durch Einsatz intelligenter Messsysteme

Einsparpotenzial	Einsparszenario 1	Einsparszenario 2	Einsparszenario 3
Raumwärme	2%	5%	10%
Warmwasser	2%	5%	10%

Szenario 1 bildet dabei die untere denkbare Grenze möglicher Einsparungen. In Szenario 3 wird unterstellt, dass alle Endkunden die Möglichkeiten der unterjährigen Verbrauchsanalyse durch ein intelligentes Messsystem ausschöpfen. Szenario 2 soll mittlere Verhältnisse abbilden.

2.4 Einschätzung der energetischen und exergetischen Einsparpotentiale von Regelverfahren in der Heizungstechnik [3]

Inhalt

In der Untersuchung wird für die Bereiche Wärmeübergabe, Wärmeverteilung und Wärmeerzeugung eine gekoppelte energetische, exergetische sowie wärmephysiologische Bewertung durchgeführt. Die Betrachtungen erfolgen für eine typische zur Beheizung von Gebäuden verwendete Anlagentechnik, wobei der Schwerpunkt auf regelungstechnischen Fragestellungen liegt.

Bei der Betrachtung des Teilbereiches Wärmeerzeugung werden Regelverfahren zur Regelung der Heizleistung ohne Informationsverbund, mit teilweisem Informationsverbund und vollständigem Informationsverbund betrachtet, vgl. Tabelle 4.

Tabelle 4 Regelungsmöglichkeiten des Wärmeerzeugers

Regelung der Wärmeerzeugung	
ohne Informationsverbund	- witterungsgeführte Regelung: Regelung der Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur über Heizkurve
teilweiser Informationsverbund	- Referenzraumregelung: Regelung des Wärmeerzeugers nach der Temperatur in einem repräsentativen Raum (Führungsraum) - Witterungsgeführte Regelung mit Raumaufschaltung: außentemperaturgeführte Regelung mit Aufschaltung eines Referenzraumes, Ermittlung der Temperatur im Referenzraum und Korrektur der Heizkurve
vollständiger Informationsverbund	Bedarfsgeführte Vorlauftemperaturregelung: - Regelverfahren 1: Direkte Regelung - Auswertung der Lastanforderungen der Räume auf Basis der aktuellen Ventileinstellungen oder - Regelverfahren 2: Indirekte Regelung - messtechnische Erfassung der Oberflächentemperaturen der Heizflächen

Mit einem vollständigen Informationsverbund ist eine bedarfsgeführte Soll-Vorlauftemperaturregelung möglich.

Für ein typisches Einfamilienhaus wird der Einfluss der genannten Regelverfahren auf den Heizwärmebedarf analysiert. Das betrachtete EFH weist einen Wärmeschutzstandard entsprechend EnEV 2004 [11] auf. Die Wärmeerzeugung erfolgt mit einem Niedertemperatur-Kessel (NT-Gerät). Die Betrachtungen bei einem vollständigem Informationsverbund erfolgen für das Anlagentemperaturniveau: $\theta_V / \theta_R / \theta_i = 70 / 55 / 20^\circ\text{C}$.

Mit einer Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss der Anlagenauslegung bzw. -gestaltung untersucht. Dies betrifft folgende Randbedingungen:

- Anlagentemperaturniveau
- Heizkörpergröße
- Rohrverlegung / Rohrisolierung
- Typ des Wärmeerzeugers.

Auswertung

Dem Endenergiebedarf der Basisvarianten ohne Informationsverbund wird jeweils der Endenergiebedarf der entsprechenden Variante mit vollständigem Informationsverbund gegenübergestellt.

Tabelle 5 Endenergiebedarf mit und ohne vollständigem Informationsverbund, NT-Gerät [3]

Wärmeerzeuger	NT-Gerät	Endenergie Wärme	Einsparung
Systemtemperaturen	70/55/20°C	$Q_{h,f}$	
		kWh/a	
Regelverfahren 1: Direkte Regelung (Ventileinstellung)			
PI-Regler	Basisvariante	7.703	
bedarfsgeführte	Impulsverfahren	7.639	0,8%
Vorlauftemperaturreglung	stetiger Regler	7.654	0,6%
Regelverfahren 2: Indirekte Regelung (Messung Oberflächentemperatur der Heizflächen)			
PI-Regler	Basisvariante	7.703	
	bedarfsgeführte Vorlauftemperaturreglung	7.609	1,2%
2P	Basisvariante	7.990	
	bedarfsgeführte Vorlauftemperaturreglung	7.876	1,4%
TRV-1K	Basisvariante	8.226	
	bedarfsgeführte Vorlauftemperaturreglung	8.152	0,9%
TRV-2K	Basisvariante	8.375	
	bedarfsgeführte Vorlauftemperaturreglung	8.297	0,9%

Beim Einsatz von Brennwert-Geräten werden gegenüber Niedertemperatur-Geräten höhere energetische Einsparungen erzielt, da die mittleren Systemtemperaturen (Vor-/Rücklauf-temperaturen) einen großen Einfluss auf die Brennwertnutzung und damit auf die Effektivität der BW-Geräte haben, vgl. Tabelle 6. Zusätzlich wurde bei dieser Variante eine zu hoch eingestellte Heizkurve unterstellt, durch ein adaptives Verfahren können entsprechend höhere Einsparpotenziale auch beim NT-Gerät bestimmt werden.

Tabelle 6 Einsparung Heizenergie bei vollständigem Informationsverbund mit NT-Gerät und BW-Gerät [3]

		Einsparung Heizenergie	
		NT-Gerät	BW-Gerät
Regelverfahren 1: Direkte Regelung (Ventileinstellung)	PI (H_{vent})	1,4%	7,6%
	PI (θ_{OF-8K})	0,9%	2,7%
	PI (θ_{OF-15K})	2,4%	5,9%
Regelverfahren 2: Indirekte Regelung (Messung Oberflächentemperatur der Heizflächen)	TRV-1K (θ_{OF-8K})	0,5%	2,1%
	TRV-1K (θ_{OF-15K})	1,6%	4,9%
	TRV-2K (θ_{OF-8K})	0,5%	2,1%
	TRV-2K (θ_{OF-15K})	1,7%	4,8%

Die energetischen Einsparpotenziale bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit vollständigem Informationsverbund liegen in der gleichen Größenordnung wie bei einem BW-Gerät und deutlich über dem Einsparpotenzial bei NT-Geräten, vgl. Tabelle 7.

Tabelle 7 Heizperiodenarbeitszahl mit und ohne vollständigem Informationsverbund, Luft-Wasser-WP mit PI-Regler [3]

Luft-Wasser-Wärmepumpe mit PI-Regler	Heizperiodenarbeitszahl		Verbesserung Heizperiodenarbeitszahl
	ohne Informationsverbund	mit Informationsverbund	Energetisches Einsparpotenzial
Anlagentemperaturniveau			
40 / 30 / 20°C	2,08	2,15	3,4%
45 / 35 / 20°C	1,99	2,08	4,5%
55 / 45 / 20°C	1,82	1,96	7,7%

2.5 Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern [4]

Inhalt

Auf der Grundlage einer Literaturanalyse und auf Simulationsrechnungen basierende Variantenuntersuchungen werden die Auswirkungen des Nutzereinflusses beschrieben, analysiert und quantifiziert. Eine Systematisierung möglicher Nutzereingriffe erfolgt entsprechend Abbildung 1.

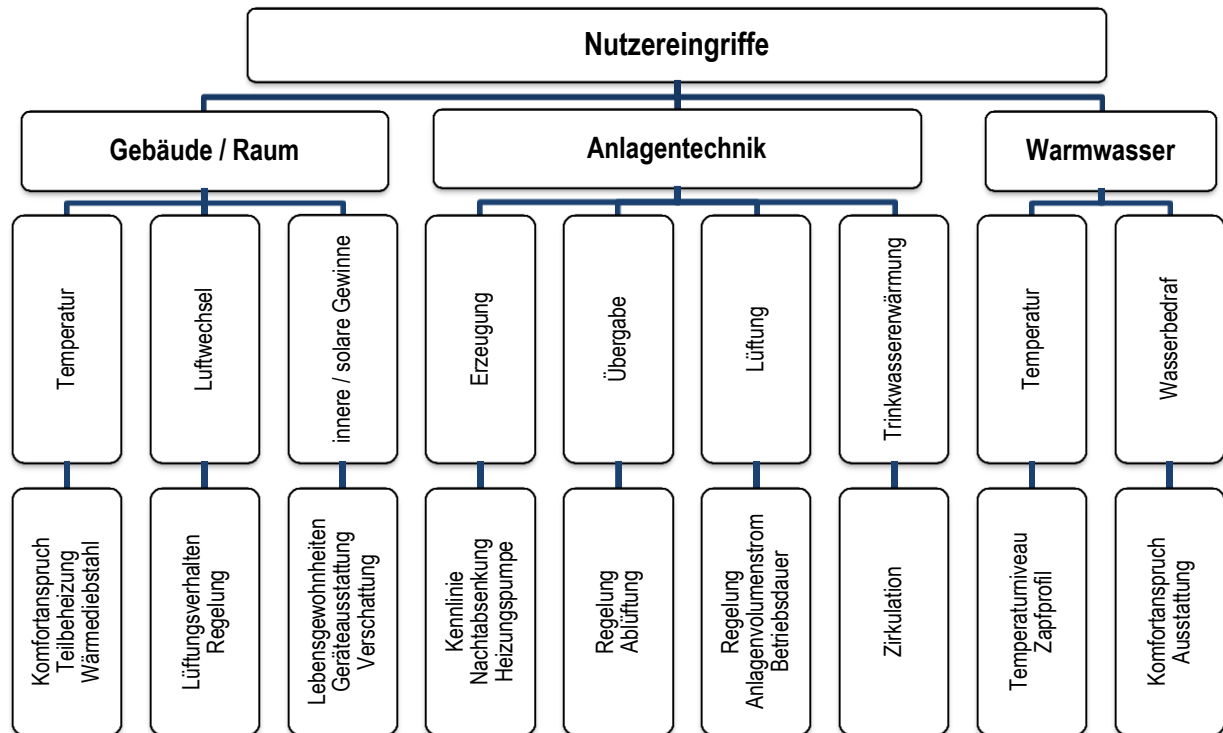


Abbildung 1 Systematisierung möglicher Nutzereingriffe [4]

Die Variantenberechnung erfolgt zu folgenden Randbedingungen mit Einfluss auf den Energiebedarf:

Heizwärmebedarf: Gebäude / Raum

- Raumtemperatur
- Luftwechsel
- Innere / Solare Gewinne

Heizenergiebedarf: Trinkwassererwärmung

- Warmwasser- und Heizwärmebedarf
- Personenanzahl und Warmwasseranforderungen
- Warmwasserzirkulation und Speicherung

Heizenergiebedarf: Gebäudebeheizung

- Wärmeübergabe
- Wärmeerzeugung
- Lüftung

Im Ergebnis der Untersuchungen wird das mögliche Einsparpotenzial bzw. der Mehrverbrauch dieser Einflussgrößen ausgewiesen. Es werden Lösungsansätze aufgezeigt und Hinweise zur Folgenabschätzung erhöhter Anforderungen an den Gebäudewärmeschutz und die Anlageneffizienz abgeleitet.

Auswertung

Die untersuchten manuellen Nutzereingriffe setzen eine bewusste Aktivität des Nutzers voraus. Mit einer vernetzten (digitalen) Heizung können Einstellungen automatisch gesteuert vorgenommen werden. Einige Einstellungen sind manuell nur direkt in der Regelung der Wärmeerzeuger möglich, mittels einer App könnten diese problemlos über das Smartphone vorgenommen werden.

Ist der Nutzer bereits sparsam, ist durch eine digitale Heizung ein geringeres Einsparpotenzial zu generieren als bei einem nicht sparsamen Nutzer, ggf. ist sogar ein Mehrverbrauch die Folge. Eine digitale Heizung eröffnet jedoch auch dem bereits sparsamen Nutzer weiterführende Möglichkeiten, so können kurzfristige Änderungen aus der Ferne vorgenommen werden. Zudem tritt i.d.R. eine Komfortverbesserung ein, da zum Beispiel eine Wiederaufheizung vor Anwesenheit erfolgen kann.

Die Auswirkungen auf den Endenergiebedarf durch ein geändertes Nutzerverhalten bzw. durch Anpassung der Betriebsweise des Wärmeerzeugers sind in Tabelle 8 bis Tabelle 10 angegeben.

Tabelle 8 Auswirkungen einer geänderten Nutzung auf den Heizwärmebedarf in Abhängigkeit vom Wärmeschutzniveau [4]

		Heizwärmemehrbedarf bei veränderter Nutzung					
		Raumtemperaturerhöhung + 1 K			Luftwechselerhöhung + 0,1 h ⁻¹		
		absolut	relativ		absolut	relativ	
WSVO77		14,9 kWh/m ² a	8%	10%	8,8 kWh/m ² a	5%	8%
WSVO95		9,7 kWh/m ² a	9%	11%	8,4 kWh/m ² a	8%	15%
Niedrigenergiehaus		7,2 kWh/m ² a	9%	12%	8,2 kWh/m ² a	9%	19%
Top-Niedrigenergiehaus		5,6 kWh/m ² a	9%	13%	7,8 kWh/m ² a	11%	31%
Passivhaus	n _x variabel	2,2 kWh/m ² a	11%	21%	7,6 kWh/m ² a	16%	44%
	n _{Anlage} variabel				0,8 kWh/m ² a	5%	7%

Tabelle 9 Auswirkungen des Nutzerverhaltens auf den Endenergiebedarf (Wärmeschutz entsprechend EnEV- Niedrigenergiehaus-Niveau) [4]

		Nutzereinfluss		Veränderung Endenergiebedarf	
		von	bis	von	bis
Warmwasserbedarf	Nutzwärme	1,6 kWh/m ² a	26,0 kWh/m ² a	-12,4 kWh/m ² a	15,4 kWh/m ² a
Warmwasserzirkulation	Betriebszeit	0 h/a	24 h/a	0,0 kWh/m ² a	10,0 kWh/m ² a

Tabelle 10 Auswirkungen der Betriebsweise des Wärmeerzeugers in Abhängigkeit vom Wärmeschutzniveau [4]

Betriebsweise	Veränderung Endenergiebedarf		
	Abschaltung Skiurlaub	Nachtabstaltung	Tagabschaltung
	1 Woche	22.00 bis 6.00 Uhr	8.00 bis 16.00 Uhr & Wochenende
WSVO77	-3,1%	-9,3%	-42,1%
WSVO95	-2,9%	-4,6%	-31,2%
Niedrigenergiehaus	-2,5%	-3,2%	-25,2%
Top-Niedrigenergiehaus	-2,4%	-2,8%	-17,2%

2.6 Energetische Gesamtanalyse, Bewertung und Verbesserung von komplexen HLK-Systemen für Wohngebäude unter Berücksichtigung wärmephysiologischer Aspekte [5]

Inhalt

Ziel der Studie ist, eine energetische Bewertung aller relevanten HLK-Anlagen unter Berücksichtigung des jeweiligen Gesamtsystems (einschließlich Anlagenregelung und Nutzerverhalten) vorzunehmen und dabei wärmephysiologische Aspekte in geeigneter Weise einzubeziehen.

Die Untersuchungen erfolgen mittels numerischer Simulation mit dem Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS®. Als Bezug wird ein „ideales Heizsystem“ gewählt, welches sich durch einen trägheitslosen Wärmeeintrag in das Gebäude auszeichnet, bei dem keine wärmephysiologischen Einschnitte zugelassen werden. Es ist somit das System mit dem geringsten energetischen Aufwand, welches die Heizaufgabe ideal realisiert. Mit einem idealen Heizsystem ist somit das maximal bestehende Entwicklungspotential bestimmbar.

Auswertung

Für das ideale Heizsystem werden in der Basisvariante zunächst die Energiekennwerte in Abhängigkeit von der Betriebsweise und dem Wärmeschutzniveau bestimmt und das Einsparpotenzial durch eine intermittierende Betriebsweise gegenüber einem durchgängigen Betrieb ausgewiesen, Tabelle 11.

Tabelle 11 Auswirkung einer unterschiedlichen Betriebsweise, Basisvariante

Wärmeschutzniveau	Betriebsweise	Q_H	Δq_H
		[kWh]	[%]
WSVO77	durchgängig	37.587	
	intermittierend	36.125	-3,9%
EnEV 2004	durchgängig	10.503	
	intermittierend	10.188	-3,0%
EnEV 2009/12	durchgängig	7.807	
	intermittierend	7.603	-2,6%

Für unterschiedliche örtliche Regeleinrichtungen wird der Mehraufwand im Raum gegenüber einem idealen Heizsystem in Abhängigkeit vom Wärmeschutzniveau ausgewiesen, Tabelle 12.

Tabelle 12 Mehraufwand im Raum gegenüber einem idealen Heizsystem in Abhängigkeit von der örtlichen Regeleinrichtung und dem Wärmeschutzniveau [5]

Brennwert-Kessel			BW-Kessel TRV 2 K					
Wärmeschutzniveau	Betriebsweise	ideales System	$\theta_a = -14^\circ\text{C}$		$\theta_a = 0^\circ\text{C}$		$\theta_a = \text{dyn.}$	
WSVO77	intermittierend	36.125	38.994	7,9%	38.393	6,3%	38.382	6,2%
EnEV 2004	intermittierend	10.188	11.175	9,7%	10.775	5,8%	10.703	5,1%
EnEV 2009/12	intermittierend	7.603	8.400	10,5%	8.239	8,4%		

2.7 Simulationsstudie zum Energieeinsparpotenzial einer Heizungsregelung mit Abwesenheitserkennung und Wetterprognose [6]

Inhalt

In der Studie wird das mögliche Einsparpotenzial für ein System untersucht, dass zusätzlich zu einer konventionellen Heizungssteuerung über die Erfassung der Geo-Positionen der Bewohner deren voraussichtliche Abwesenheit berücksichtigt. Die notwendige Wiederaufheizung erfolgt in Abhängigkeit einer nutzerdefinierten Komforteinstellung. Zudem hat das System Zugriff auf eine lokale Online-Wettervorhersage und sammelt Erfahrungen, wie sich vorhergesagte solare Globalstrahlungen auf die Raumlufttemperaturen auswirken. Damit kann bei ausreichender Strahlung eine vorzeitige Abschaltung der Heizung erfolgen.

Die Untersuchungen basieren auf dynamischen Simulationsrechnungen (TRNSYS 17) für ein typisches Einfamilienhaus sowie eine Geschosswohnung und zwei unterschiedliche Baualter. Um unterschiedliche Nutzungsarten zu berücksichtigen werden Solltemperaturprofile für einen Single- und einen Familienhaushalt festgelegt. Das Vergleichsgebäude erhält konventionelle Thermostatventile, welche konstant auf 20 °C eingestellt sind.

Auswertung

Im Ergebnis der Studie wird eine Reduzierung des Heizenergiebedarfes durch selbstständiges Regeln des Wärmeerzeugers um 14 % bis 26 % [6] ausgewiesen. Das größte Einsparpotenzial wird dabei mit bis zu 24 % durch die Abwesenheitserkennung erzielt. Die Einsparungen, welche sich durch eine auf die Wettervorhersage gestützte Abschaltung ergeben, werden für die angesetzten Fenstergrößen mit zusätzlich 7 % angegeben.

Die in [6] angegebenen Einsparungen müssen unter folgenden Gesichtspunkten bewertet werden:

- Ansatz einer unteren Komforteinstellung: nicht in jedem Fall ist bei Ankunft des Nutzers die Raum-Solltempertur erreicht
- Einsparpotenzial ist höher bei häufiger und längerer Abwesenheit der Nutzer
- Vergleichsgebäude mit auf konstant 20 °C eingestellten Thermostatventilen: bei einem ohnehin sparsamen Nutzer, welcher die Thermostate räumlich und zeitlich verändert, sind auch geringere Einsparungen zu erwarten, ebenso bei Regelungen mit bereits fest programmierten Nutzungszeiten

2.8 Vergleichsrechnung Zirkulationsdauer

Für das in Abschnitt 3 beschriebene Einfamilienhaus werden Vergleichsrechnungen zum Einfluss der Zirkulationsdauer auf den Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser sowie auf den Hilfsenergiebedarf durchgeführt. Die Berechnungen erfolgen mit dem Hottgenroth-Energieberater Plus 8.4.5., gebäudeseitig liegt das Monatsbilanzverfahren der DIN V 4108-6 [12] und anlagenseitig die DIN V 4701-10 [13] zugrunde. Es wird die Laufzeit der Zirkulationspumpe variiert und der Endenergiebedarf sowie der Hilfsenergiebedarf der Vergleichsvariante (Nachtabstaltung 7 h) gegenübergestellt. Die Leistungsaufnahme der Zirkulationspumpe beträgt 10 W.

Tabelle 13 Endenergiebedarf und Hilfsenergiebedarf in Abhängigkeit der Abschaltdauer und des Wärmeschutzniveaus

Wärmeschutz: WSchVO 95	Endenergie- bedarf Heizung + TWE	Einsparung Endenergie		Hilfsenergie	Einsparung Hilfsenergie	
		absolut	Einspar- potenzial		absolut	Einspar- potenzial
Dauer Abschaltung der Zirkulation	kWh/a	kWh/a	%	kWh/a	kWh/a	%
0 h (durchgängiger Betrieb)	20.761	490	2,4%	443	32	7,8%
3 h	20.551	280	1,4%	429	18	4,4%
7 h (Vergleichswert: Nachtabstaltung)	20.271	0	0,0%	411	0	0,0%
11,5 h (Standard DIN V 4701-10 nach EnEV)	19.953	-318	-1,6%	390	-21	-5,1%
15 h	19.711	-560	-2,8%	375	-36	-8,8%
21 h	19.291	-980	-4,8%	348	-63	-15,3%
24 h	19.081	-1.190	-5,9%	334	-77	-18,7%

Wärmeschutz: Referenzwärmeschutz EnEV 2009	Endenergie- bedarf Heizung + TWE	Einsparung Endenergie		Hilfsenergie	Einsparung Hilfsenergie	
		absolut	Einspar- potenzial		absolut	Einspar- potenzial
Dauer Abschaltung der Zirkulation	kWh/a	kWh/a	%	kWh/a	kWh/a	%
0 h (durchgängiger Betrieb)	14.107	291	2,1%	472	29	6,5%
3 h	13.982	166	1,2%	460	17	3,8%
7 h (Vergleichswert: Nachtabstaltung)	13.816	0	0,0%	443	0	0,0%
11,5 h (Standard DIN V 4701-10 nach EnEV)	13.627	-189	-1,4%	425	-18	-4,1%
15 h	13.483	-333	-2,4%	410	-33	-7,4%
21 h	13.233	-583	-4,2%	385	-58	-13,1%
24 h	13.108	-708	-5,1%	373	-70	-15,8%

2.9 Zusammenfassung und Ableitung von Einsparscenarien

Optimierungsfunktionen an der Heizung durch Informations- und Steuersysteme führen zur Einsparung von Energie und weiterhin zur Verbesserung des thermischen Komforts. Mögliche digitalen Optimierungsfunktionen werden in Tabelle 14 angegeben.

Tabelle 14 Möglichkeiten zur Digitalisierung der Heizung

selbstadaptierende Heizkurveneinstellung	Bedarfsgeführte Wärmebereitstellung in Abhängigkeit vom tatsächlichen Raumwärmebedarf: Auswertung der Lastanforderungen der Räume auf Basis der aktuellen Ventileinstellungen oder messtechnische Erfassung der Oberflächentemperaturen der Heizflächen
Präsenzkontrolle	Erfassung der Belegung des Hauses (Erfassung der Geo-Positionen der Bewohner) bzw. der Belegung der einzelnen Räume und Unterbrechung der Heizung (intermittierender Heizbetrieb)
Wetterprognose	Zugriff auf lokale Online-Wettervorhersage und Einstellung der Vorlauftemperatur bzw. Heizzeit
Vereinfachung hydraulischer Abgleich	Kenntnis des tatsächlichen Wärmebedarfs der einzelnen Räume
zeitliche Optimierung der Warmwasserzirkulation	Zirkulation im Warmwassernetz in Abhängigkeit von der Belegung des Hauses bzw. zeitabhängig
Visualisierung der Verbrauchsdaten	Einfluss auf das Nutzerverhalten durch Visualisierung von Verbrauchsdaten, wie Wärme- und Warmwasserverbrauch, über Display oder webbasiert

Das mögliche Einsparpotenzial der jeweiligen Maßnahme hängt sowohl vom baulichen Wärmeschutz als auch von der vorhandenen Anlagentechnik ab. Bereits sparsames Nutzerverhalten hat geringere Einsparungen zur Folge, bei einem Nutzer mit sehr hohem Verbrauch können durch eine Digitalisierung der Heizung die Einsparungen u. U. höher sein.

Im Ergebnis der Analyse der vorstehenden Untersuchungen wird das mögliche Einsparpotenzial (bezogen auf den Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser) für die betrachteten Optimierungsoptionen bei Einfamilienhäusern bzw. kleinen Mehrfamilienhäusern angegeben.

Tabelle 15 Einsparpotenzial durch digitale Optimierungsoption

Optimierungsoption	Einsparpotenzial		
	von	mittlerer Wert	bis
selbstadaptierende Heizkurveneinstellung	NT-Kessel		BW-Kessel / Wärmepumpen
	1,5%	5%	8,0%
Präsenzkontrolle (Personenerfassung)	Neubau		Altbau
	2,5%	3,5%	4,0%
Wetterprognose	Neubau		Altbau
	1%	2%	3%
zeitliche Optimierung Warmwasserzirkulation am Tag	3 h/d (zusätzlich zur Nachtabschaltung)	8 h/d (zusätzlich zur Nachtabschaltung)	24 h/d (ohne Zirkulation gegenüber durchgängiger Zirkulation)
	Endenergie Wärme	1,5 %	2,5 %
	Hilfsenergie	5 %	8 %
			25 %
vereinfachter hydraulischer Abgleich	Altbau		Neubau
	2,0%	2,5%	3,0%
Visualisierung von Verbrauchsdaten	2,0%	5,0%	10,0%
Kombination mehrerer Optionen (mit BW-Kessel oder Wärmepumpe) Heizkurveneinstellung (Kesselansteuerung) Präsenzkontrolle (Personenerfassung) Lüftungserkennung Anheiz- und Heizende-Option	Altbau		Neubau
	8,0%	11,5%	15,0%

Als Neubauten gelten Wohngebäude mit einem baulichen Wärmeschutz ab EnEV 2002 [14].

3 Beispielrechnung: Einfamilienhaus

Randbedingungen

Für ein Einfamilienhaus im Bestand werden die möglichen Energieeinsparungen durch den Einsatz von Informations- und Steuertechnik ermittelt.

Die Berechnungen erfolgen auf Basis der Gebäudekenndaten für ein kleines Einfamilienhaus¹ des Modellgebäudekataloges [15]. Es werden zwei Wärmeschutzstandards betrachtet:

- Altbau: Wärmeschutzstandard etwa WSchVO 95 [16]
- Neubau: Wärmeschutz entsprechend Referenzausführung EnEV2009 [17]

Es ist bereits eine moderne Heizungsanlage installiert, welche die Vernetzung und Steuerung überhaupt ermöglicht. Ziel ist es die möglichen Einsparungen zu ermitteln, welche sich zusätzlich zur Modernisierung der Heizungsanlage an sich ergeben würden.

Tabelle 16 Gebäudekenndaten EFH

Einfamilienhaus klein (Bestandsgebäude)	
Nutzfläche A_N	149 m ²
Wohnfläche	125 m ²
beheiztes Volumen	465 m ³
Keller	außerhalb der thermischen Hülle

Tabelle 17 U-Werte der Gebäudehüllfläche

Bauteil	U-Wert [W/m ² K]	
	Neubau	Altbau
Außenwand	0,28	0,50
Fenster	1,30	1,60
Dach / oberste Geschossdecke	0,20	0,30
Kellerdecke	0,35	0,60

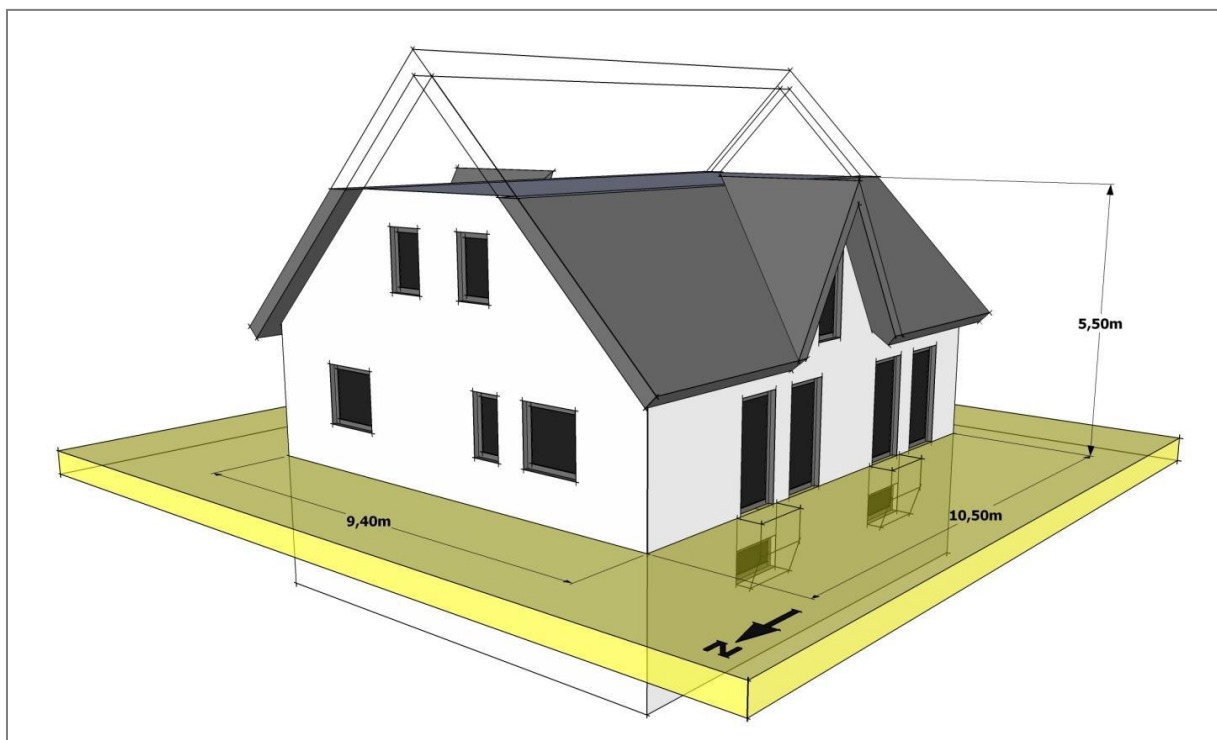


Abbildung 2 Einfamilienhaus klein mit Keller – Ansicht Nord-West [15]

¹ Die Wohnfläche des Gebäudes entspricht damit in etwa der durchschnittlichen Wohnfläche von Gebäuden mit einer Wohneinheit nach den Angaben des Statistischen Bundesamtes [19]

Tabelle 18 Anlagentechnik mit und ohne digitale Optimierungsmaßnahme

Anlagentechnik
Öl-/Gas-Brennwertkessel (verbessert) und Speicher Auslegungstemperatur 70/55°C (Altbau) bzw. 55/45°C (Neubau) Dämmung der Leitungen nach EnEV leistungsgeregelte Heizungsumwälzpumpe neue Thermostatventile Zirkulation Warmwasser mit Nachtabschaltung 7 h

Die Berechnungen der Energiebedarfskennwerte erfolgt mit dem Hottgenroth-Energieberater Plus 8.4.5. Den Berechnungen liegen gebäudeseitig das Monatsbilanzverfahren der DIN V 4108-6 [12] und anlagenseitig die DIN V 4701-10 [13] zugrunde.

Ergebnisse

Die möglichen Einsparungen an Endenergie Wärme (Bezug: Heizwert) und an Hilfsenergie durch verschiedene digitale Optimierungsfunktionen sind am Beispiel des Einfamilienhauses unter Ansatz eines mittleren Einsparpotenzials in Tabelle 19 und Tabelle 20 angegeben.

Tabelle 19 Einsparungen durch digitale Optimierungsfunktionen, EFH Altbau

Einfamilienhaus Altbau (WSchVO 95)	Einsparpotenzial		Endenergie- bedarf Hzg.+TWE	Einsparung Endenergie	Hilfsenergie	Einsparung Hilfsenergie
Optimierungsoption			kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Referenz ohne Informationsverbund			20.271		411	
selbstadaptierende Heizkurveinstellung	BW-Kessel	8,0%		1.622		
Präsenzkontrolle (Personenerfassung)	Altbau	4,0%		811		
Wetterprognose	Altbau	3,0%		608		
zeitliche Optimierung WW-Zirkulation am Tag	Abschaltung 15 h	2,5%		507		
		8,0%				33
vereinfachter hydraulischer Abgleich	Altbau	2,0%		405		
Visualisierung von Verbrauchsdaten	mittlerer Wert	5,0%		1.014		
Kombination mehrerer Optionen	mittlerer Wert	11,5%		2.331		

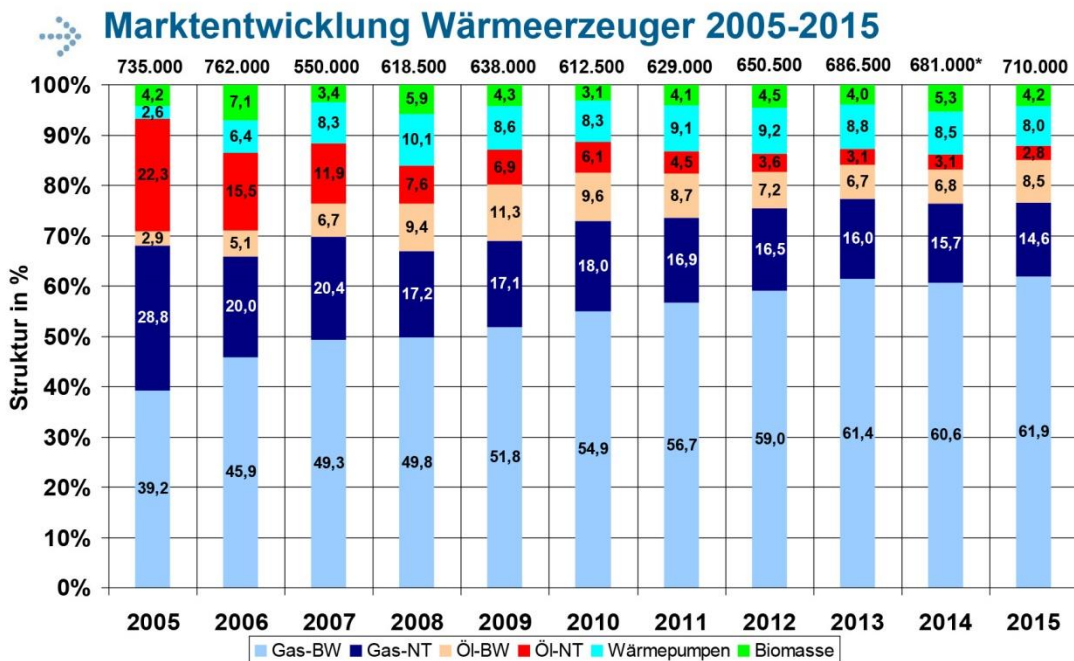
Tabelle 20 Einsparungen durch digitale Optimierungsfunktionen, EFH Neubau

Einfamilienhaus Neubau (EnEV 2009)	Einsparpotenzial		Endenergie- bedarf Hzg.+TWE	Einsparung Endenergie	Hilfsenergie	Einsparung Hilfsenergie
Optimierungsoption			kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Referenz ohne Informationsverbund			13.816		443	
selbstadaptierende Heizkurveinstellung	BW-Kessel	8,0%		1.105		
Präsenzkontrolle (Personenerfassung)	Neubau	2,5%		345		
Wetterprognose	Neubau	1,0%		138		
zeitliche Optimierung WW-Zirkulation am Tag	Abschaltung 15 h	2,5%		345		
		8,0%				35
vereinfachter hydraulischer Abgleich	Neubau	3,0%		414		
Visualisierung von Verbrauchsdaten	mittlerer Wert	5,0%		691		
Kombination mehrerer Optionen	mittlerer Wert	11,5%		1.589		

4 Einsparungen bei allen jährlich durchgeführten Heizungsmodernisierungen

Randbedingungen

Entsprechend der BDH-Statistik zum Absatz von Wärmeerzeugern in Deutschland wurden im Jahr 2015 in Neubau und Bestand 710.000 Wärmeerzeuger installiert, Abbildung 3. Die jährliche Sanierungsrate kann mit derzeit 550.000 Anlagen pro Jahr angesetzt werden.



BDH
Bundesverband der
Deutschen Heizungsindustrie

* Eine Erweiterung des Meldekreises in der Produktstatistik „Biomassekessel“ im Jahr 2014 führte zu höheren Stückzahlen im Vergleich zum Vorjahr. Die prozentuale Entwicklung zum Vorjahr ist aber negativ.

Abbildung 3 Absatz von Wärmeerzeugern in Deutschland [18]

Für die jährlich neu installierten Wärmeerzeuger im Bestand von Ein- und Zweifamilienhäusern wird auf Grundlage der Berechnungen in Abschnitt 3 das mögliche Gesamteinsparpotenzial an Endenergie Wärme und Hilfsenergie abgeschätzt, wenn die Anlagen kombiniert mit den Möglichkeiten eines Informationsverbundes installiert werden. Es wird von 100.000 Anlagen pro Jahr ausgegangen.

Ergebnisse

Die möglichen zusätzlichen Einsparungen bei Ein- und Zweifamilienhäusern durch Nutzung verschiedener digitaler Optimierungsoptionen werden in Tabelle 21 für 100.000 Heizungsmodernisierungen pro Jahr angegeben. Zudem werden die Einsparungen durch eine zeitliche Optimierung der Dauer der Warmwasserzirkulation am Tag ausgewiesen.

Tabelle 21 Einsparungen durch digitale Optimierungsoptionen, Ein-/Zweifamilienhäuser im Bestand

Hochrechnung auf alle jährlich installierten Wärmeerzeuger im Bestand	Anzahl	Endenergie Wärme	Hilfsenergie
Kombination mehrerer Optimierungsoptionen	100.000	233.116.500 kWh/a	
zeitliche Optimierung Warmwasserzirkulation am Tag	100.000	50.677.500 kWh/a	3.288.000 kWh/a
Summe		283.794.000 kWh/a	3.288.000 kWh/a
Gesamt		284.000 MWh/a	3.000 MWh/a

5 Ausblick

Die zukünftige Energieversorgung in Deutschland wird nach dem Willen der Bundesregierung wesentlich auf erneuerbarem Strom basieren. Das Angebot an Strom aus erneuerbarer Energie unterliegt wetterabhängig starken Schwankungen. Digitale Stromzähler an der Übergabestelle ermöglichen durch eine bidirektionale Kommunikation zwischen Versorger und Abnehmer mit einer variablen Strompreisgestaltung die Weitergabe „überschüssigen“ Stromes aus erneuerbaren Energien an den Endkunden. Die Nutzung bzw. Speicherung des „überschüssigen“ Stromes kann in der Heizungsanlage selbst (Puffer- bzw. Warmwasserspeicher) bzw. durch Nutzung der thermischen Speicherfähigkeit des Gebäudes erfolgen. Damit steigt das Potenzial zur Einsparung fossiler Energie durch intelligente Heizungen perspektivisch weiter gegenüber den in Tabelle 15 dargestellten Kennwerten.

6 Quellen

- [1] *Abdel Fattah, A.: Zum Einsatz dezentraler Umwälzpumpen in Heizsystemen, TU Dresden - Dissertation 2012.*
- [2] *ITG Dresden: Kurzgutachten Beitrag intelligenter Messsysteme für Strom, Gas und Wärme zur CO2-Minderung, im Auftrag Figawa e.V., November 2015.*
- [3] *Seifert, J.: Ein Beitrag zur Einschätzung der energetischen und exergetischen Einsparpotentiale von Regelverfahren in der Heizungstechnik, TU Dresden - Habilitationsschrift 2009.*
- [4] *Richter, W.; Ender, T.; Hartmann, T.; Seifert, J. u.a.: Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern, TU Dresden 2002.*
- [5] *Richter, W.; Seifert, J.; Oschatz, B. u.a.: Bewertung und Verbesserung von komplexen HLK-Systemen für Wohngebäude unter Berücksichtigung wärmephysiologischer Aspekte, Abschlussbericht TU Dresden, ITG Dresden, 2011.*
- [6] *Kersken, M.; Sinnesbichler, H.: Simulationsstudie zum Energieeinsparpotenzial einer Heizungsregelung mit Abwesenheitserkennung und Wetterprognose, IBP-Mitteilung 527, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 2013.*
- [7] *Transsolar Energietechnik GmbH. Stuttgart: TRNSYS - a transient system simulation program. 1996. - Beschreibung.*
- [8] *IWU Institut Wohnen und Umwelt GmbH: Wirkungs- und Akzeptanzanalyse von EDMpremium, Kurzbericht zur Analyse des Aachener Feldversuches der ista Deutschland GmbH, Februar 2011.*
- [9] *dena: Modellvorhaben Bewusst heizen, Kosten sparen, Managment Summary zum Zwischenbericht "Verbrauchsauswertung und Mieterbefragung in der Heizperiode 2013/2014", Oktober 2014.*
- [10] *Modellvorhaben Bewusst heizen, Kosten sparen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH gemeinsam mit ista Deutschland GmbH, dem Deutschen Mieterbund e.V. und dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: www.bewusst-heizen.de.*
- [11] *EnEV 2004: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV), November 2004, Berlin: Bundesregierung.*
- [12] *DIN V 4108-6: 2003-06. Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.*
- [13] *DIN V 4701-10: 2003-08. Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen - Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung.*
- [14] *EnEV Die Energieeinsparverordnung, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Bonn 21. November 2001.*

-
- [15] *ZUB Kassel e.V. im Auftrag des BMVBS/BBSR: Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit, Oktober 2010.*
- [16] *Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden - Wärmeschutzverordnung vom 16. August 1994.*
- [17] *Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009 (Energieeinsparverordnung - EnEV 2009).*
- [18] *Absatz von Wärmeerzeugern in Deutschland, BDH Bundesindustrieverband Deutschland,.*
- [19] *Bestand an Wohnungen, Fachserie 5 Reihe 3 - 31. Dezember 2015, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2016.*