

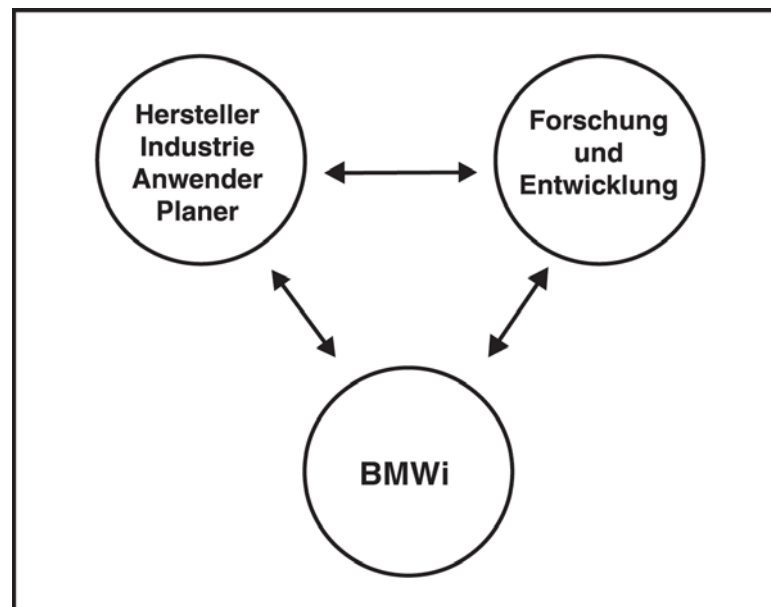
Dipl.-Ing. A. A. Fattah, Dr.-Ing. A. Kremonke, Dr.-Ing. A. Perschke

---

# Entwicklung und Einsatz energiesparender dezentraler Heizungsanlagen

## Systemanalyse der Heizungsanlage

---



**Forschungsberichte**



# **Entwicklung und Einsatz energiesparender dezentraler Heizungsanlagen**

## **Systemanalyse der Heizungsanlage**

Herausgeber: FIA-Projekt – Forschungs-Informations-Austausch  
unterstützt durch das  
Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

im Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.  
Danziger Straße 20  
74321 Bietigheim-Bissingen  
Tel.: 071 42/5 44 98  
[www.fgk.de](http://www.fgk.de)

Projekt: Leiter:  
Prof. Dr.-Ing. habil. W. Richter

Dipl.-Ing. A. A. Fattah  
Dr.-Ing. A. Kremonke  
Dr.-Ing. A. Perschke

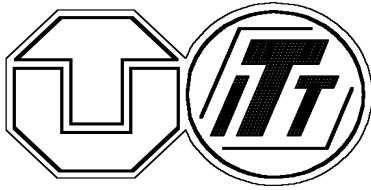
Technische Universität Dresden  
Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung

Veröffentlicht im Juli 2005 Best. Nr.: 110

ISBN 3-938210-09-5

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren





TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät für Maschinenwesen

Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung

# Entwicklung und Einsatz energiesparender dezentraler Heizungspumpen - Systemanalyse der Heizungsanlage - Schlussbericht

„Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für *Wirtschaft und Arbeit* unter dem Förderkennzeichen 0327294A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.“

Projektleiter : Prof. Dr.-Ing. habil. W.Richter

Bearbeiter : Dipl.-Ing. A. Abdel Fattah

Dr.-Ing. A. Kremonke

Dr.-Ing. A. Perschk

Dresden, 17.Mai 2005



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Aufgabenstellung</b>	<b>1</b>
<b>I. Ausgangslage</b>	<b>3</b>
<b>2. Stand von Wissenschaft und Technik</b>	<b>3</b>
2.1. Stand der Technik . . . . .	3
2.2. Stand der Wissenschaft . . . . .	4
<b>3. Planung des Vorhabens - Arbeitsschwerpunkte</b>	<b>7</b>
3.1. Untersuchungen zur hydraulischen Beeinflussung . . . . .	7
3.2. Ermittlung der Einsatzgrenzen . . . . .	7
3.3. Ermittlung des energetischen Einsparpotentials . . . . .	7
3.4. Pumpen-Regelung . . . . .	8
3.5. Kopplung mit vorhandenen zentralen Regeleinrichtungen . . . . .	8
3.6. Einsatz in Anlagen mit Zwangsumlauf-Wärmeerzeugern . . . . .	8
3.7. Messtechnische Untersuchungen . . . . .	8
3.7.1. Labor 2 Heizkörper . . . . .	8
3.7.2. Labor 10 Heizkörper . . . . .	9
3.7.3. Labor Wärmeerzeuger . . . . .	9
3.7.4. Versuchshaus . . . . .	9
3.8. Optimierung der Regelung . . . . .	9
3.8.1. Zielfunktion Energieeinsparung . . . . .	9
3.8.2. Zielfunktion Komfort . . . . .	10
3.8.3. Ableitung der Regelalgorithmen . . . . .	10
3.8.4. Implementierungsfertige Software . . . . .	10
3.8.5. Abschätzung der realen Einspareffekte . . . . .	10
3.9. Kopplung mit zentraler Pumpe - Analyse der Druckverteilung . . . . .	11
<b>4. Zusammenarbeit mit anderen Stellen</b>	<b>11</b>
<b>II. Grundlagenuntersuchungen</b>	<b>13</b>
<b>5. Entwicklung der Neubautätigkeit und Struktur des Gebäudebestandes</b>	<b>13</b>
<b>6. Experimentelle Untersuchungen zum Nachweis der gegenseitigen hydraulischen Beeinflussung</b>	<b>21</b>
6.1. Zielstellung . . . . .	21
6.2. Aufbau des Versuchsstandes . . . . .	21
6.3. Versuchsdurchführung . . . . .	24
6.3.1. Ermittlung der Arbeitspunkte . . . . .	24
6.3.2. Fall 1 - große gegenseitige Beeinflussung . . . . .	25
6.3.3. Fall 2 - geringe gegenseitige Beeinflussung . . . . .	27

<b>7. Ermittlung der erforderlichen Auslegungskennwerte von dezentralen Pumpen</b>	<b>29</b>
7.1. Ermittlung der erforderlichen Förderhöhe für WW-Heizungsanlagen mit örtlichen Heizflächen . . . . .	29
7.2. Ermittlung der erforderlichen Förderhöhe für WW - Fußbodenheizungsanlagen	37
7.3. Ermittlung der erforderlichen Fördermenge für WW-Heizungsanlagen mit örtlichen Heizflächen . . . . .	38
7.4. Ermittlung der erforderlichen Fördermenge für WW - Fußbodenheizungsanlagen . . . . .	40
<b>III. Energieeinsparung - Theoretische Betrachtungen</b>	<b>41</b>
<b>8. Einsparpotenziale</b>	<b>41</b>
<b>9. Einsparung von Heizenergie</b>	<b>41</b>
9.1. Heizenergieeinsparung durch verbesserte Raumtemperaturregelung . . . . .	41
9.2. Heizenergieeinsparung durch bedarfsoptimierte Vorlauftemperaturregelung .	43
9.3. Heizenergieeinsparung durch verbesserte Brennwertnutzung . . . . .	44
9.4. Heizenergieeinsparung durch Einflussnahme auf das Nutzerverhalten . . . . .	45
9.5. Heizenergieeinsparung durch Diagnoseverfahren . . . . .	46
<b>10. Einsparung von Antriebsenergie</b>	<b>47</b>
10.1. Randbedingungen der Simulation . . . . .	48
10.2. Ergebnisse der Simulationsrechnungen . . . . .	49
<b>IV. Entwicklung der Regelungs- und Steuerungssoftware</b>	<b>55</b>
<b>11. Systemvergleich der Möglichkeiten zur Raumtemperaturregelung</b>	<b>55</b>
<b>12. Festlegung der Regelstrategie</b>	<b>66</b>
12.1. Zielfunktion Energieeinsparung . . . . .	66
12.2. Zielfunktion Komfort . . . . .	68
<b>13. Erprobung</b>	<b>71</b>
13.1. Labor 10 Heizkörper . . . . .	71
13.2. Labor Wärmeerzeuger . . . . .	74
<b>V. Praxistest</b>	<b>77</b>
<b>14. Motivation</b>	<b>77</b>
<b>15. Versuchsgebäude</b>	<b>78</b>
15.1. Baukörper . . . . .	78
15.2. Heizungsanlage . . . . .	78
15.3. Messtechnische Ausrüstung . . . . .	80

<b>16. Versuchsdurchführung und Auswertung</b>	<b>81</b>
16.1. Methodik der Versuchsdurchführung . . . . .	81
16.2. Randbedingungen . . . . .	82
16.2.1. Randbedingungen für Funktionsnachweise . . . . .	82
16.2.2. Randbedingungen für energetische Vergleichsuntersuchungen . . . . .	82
16.3. Witterungsreinigung . . . . .	84
16.3.1. Übliche Vorgehensweise - VDI 3807 . . . . .	84
16.3.2. Problematik kurzer Messzeiträume . . . . .	85
16.3.3. Modifikation des Verfahrens für kurze Messzeiträume . . . . .	87
16.3.4. Test an einem simulierten Gebäude . . . . .	88
16.3.5. Fazit . . . . .	89
<b>17. Messergebnisse</b>	<b>90</b>
17.1. Funktionsnachweis . . . . .	90
17.1.1. Vorlauftemperaturregelung . . . . .	90
17.1.2. Raumtemperaturregelung . . . . .	92
17.1.3. Schnellaufheizen . . . . .	97
17.2. Heizenergieeinsparung . . . . .	98
17.3. Übertragbarkeit der Messergebnisse auf reale Einsatzbedingungen . . . . .	101
17.3.1. Nutzereinfluss . . . . .	102
17.3.2. Einfluss der Messperiodenlänge . . . . .	103
17.3.3. Gebäudeeinfluss . . . . .	104
 <b>VI. Zusammenfassung</b>	 <b>109</b>
<b>A. Typgebäude</b>	<b>117</b>
<b>Anhang</b>	<b>121</b>
<b>B. Versuchshaus</b>	<b>121</b>
B.1. Gebäudegrundrisse . . . . .	121
B.2. Ergebnisse der Luftdichtigkeitsmessung . . . . .	125



## Abbildungsverzeichnis

5.1.	Struktur der Neubautätigkeit - fertiggestellte Wohngebäude . . . . .	14
5.2.	Struktur der Neubautätigkeit - fertiggestellte Wohnungen . . . . .	15
5.3.	Struktur der Neubautätigkeit - Aufteilung der Wohnräume . . . . .	15
5.4.	Struktur des Bestandes an Wohngebäuden (Gebäude insgesamt: 16.137.327)	16
5.5.	Struktur des Bestandes an Wohnfläche ( $1000m^2$ ) (Wohnfläche insgesamt: $3.043.199 \times 1000 m^2$ ) . . . . .	17
5.6.	Struktur des Bestandes an Wohnräumen (Wohnräume insgesamt: 157.983.620)	17
5.7.	Beheizung des Wohnungsbestandes . . . . .	18
5.8.	Altersstruktur des Gebäudebestandes . . . . .	18
5.9.	Entwicklung der Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes . . . . .	19
6.1.	Schaltschema für experimentelle Untersuchungen . . . . .	22
6.2.	Aufbau des Versuchsstandes . . . . .	23
6.3.	Ermittlung der Arbeitspunkte von dezentralen Pumpen . . . . .	24
6.4.	Fall 1 - große gegenseitige Beeinflussung . . . . .	26
6.5.	Fall 2 - geringe gegenseitige Beeinflussung . . . . .	28
7.1.	Längster und kürzester Stromkreis bei hydraulisch ungünstiger Rohrführung	30
7.2.	Längster und kürzester Stromkreis bei hydraulisch günstiger Rohrführung .	30
7.3.	Ungünstige und optimierte Rohrführung zum entferntesten Heizkörper . . .	31
7.4.	Bereiche erforderlicher Förderhöhen für zentrale und dezentrale Pumpen .	32
7.5.	Thermodynamischer Umtriebsdruck in Abhängigkeit der Geschoßanzahl . .	34
7.6.	Erforderliche Förderhöhenzunahme bei Vorlauftemperaturabsenkung (Bezugszustand : $t_{VL} = 90^\circ C$ , $t_{RL} = 70^\circ C$ , $t_i = 20^\circ C$ , Leistungsreserve des Heizkörpers : 15%) . . . . .	35
7.7.	Temperaturspreizung im Auslegungsfall bei einer Förderhöhenzunahme nach Abb 7.6 . . . . .	35
7.8.	Vergleich von Angaben verschiedener Autoren zur erforderlichen Förderhöhe	36
7.9.	Druckverlust bei Fußbodenheizungen . . . . .	37
7.10.	Förderströme für dezentrale Pumpen in Abhängigkeit der Leistung und der Temperaturspreizung . . . . .	38
7.11.	Fördermenge bei Fußbodenheizungen . . . . .	40
8.1.	Einsparung von Antriebs- und Heizenergie bei Einsatz dezentraler Pumpen	42
9.1.	Bedarfoptimierte Vorlauftemperaturregelung . . . . .	44
9.2.	Verbesserte Brennwertnutzung durch gezieltes Absenken der Rücklauftemperatur . . . . .	45
9.3.	Heizenergieeinsparung durch Erkennen von Lüftungsvorgängen . . . . .	46
10.1.	Modellgebäudes mit Heizungsanlage . . . . .	48
10.2.	Elektroenergieverbrauch der Heizungspumpe(n) bei verschiedenen Sanierungsmaßnahmen (optimal ausgelegte Pumpe(n)) . . . . .	49
10.3.	Einfluss der Voreinstellung auf den Elektroenergieverbrauch von zentralen Heizungspumpen bei verschiedenen Sanierungsmaßnahmen (optimal ausgelegte Pumpe(n)) . . . . .	50
10.4.	Einfluss der Pumpenauslegung auf den Elektroenergieverbrauch von zentralen Heizungspumpen . . . . .	51

---

10.5. Betriebsstunden zentraler Pumpen und mittlere Laufzeit dezentraler Pumpen	53
11.1. Simuliertes Gebäude . . . . .	56
11.2. Unterteilung des simulierten Gebäudes in geometrische Zonen . . . . .	57
11.3. Mögliche gebäudeseitige Einflussgrößen . . . . .	58
11.4. Mögliche anlagentechnische Einflussgrößen . . . . .	58
11.5. Isometrische Darstellung der simulierten Heizungsanlage . . . . .	59
11.6. Temperaturen ausgewählter Räume mit konventioneller Heizungsanlage (Die Regelung der Heizflächen erfolgt mit Thermostatregelventilen.) . . . . .	60
11.7. Temperaturen ausgewählter Räume mit dezentralen Pumpen und PI-Reglern	60
11.8. Temperaturen ausgewählter Räume mit ungeregelten dezentralen Pumpen die über einen Zweipunktregler angesteuert werden . . . . .	61
11.9. Auswirkungen eines möglichen Nutzereingriffes bei zu großen Temperaturschwankungen (Heizungsanlage mit ungeregelten dezentralen Pumpen die über einen Zweipunktregler angesteuert werden) . . . . .	61
11.10. Zeitliches Verhalten von Sensor- und Raumtemperatur bei großer Heizreserve	62
11.11. Aufheizverhalten mit elektronisch geregelten dezentralen Pumpen und kurzzeitiger Anhebung der Vorlauftemperatur auf $85^{\circ}C$ . . . . .	63
11.12. Aufheizverhalten mit elektronisch geregelten dezentralen Pumpen und konstanter Vorlauftemperatur . . . . .	64
11.13. Aufheizverhalten mit ungeregelten Pumpen, angesteuert durch Zweipunktregler und außentemperaturabhängiger Regelung der Vorlauftemperatur . . .	64
12.1. Einfluss verschiedener Regelfunktionen auf den mittleren Wirkungsgrad des Wärmereizers (Ergebnis einer Heizperioden-Simulation) . . . . .	67
12.2. Vorlauftemperaturen bei einer bedarfsgeregelten Vorlauftemperatur (Ergebnis einer Heizperioden-Simulation) . . . . .	68
12.3. Simulationsergebnisse zur Schnellaufheizfunktion . . . . .	70
13.1. Hydraulikversuchsstand . . . . .	71
13.2. Emulation Hydraulikversuchsstand . . . . .	72
13.3. Emulation Hydraulikversuchsstand . . . . .	73
13.4. Wärmereizger-Versuchsstand . . . . .	74
13.5. Funktionstest Schnellaufheizen (ausgewähltes Beispiel) . . . . .	75
13.6. Wärmereizger-Versuchsstand . . . . .	76
16.1. Hochrechnung des monatlichen auf den jährlichen Heizenergiebedarf bei Witterungsbereinigung nach VDI 3807 . . . . .	86
16.2. Vergleich des tatsächlichen Heizenergiebedarfes mit den Hochrechnungen nach VDI 3807 und dem modifizierten Verfahren (TU Dresden) . . . . .	88
17.1. Zeitlicher Verlauf der bedarfsabhängig geregelten Vorlauftemperatur (Tagesgang vom 20.12.03, Schnellaufheizen nicht aktiviert) . . . . .	91
17.2. Zeitlicher Verlauf der Raumtemperatur bei bedarfsabhängig geregelter Vorlauftemperatur (Tagesgang vom 20.12.03, Schnellaufheizen nicht aktiviert)	92
17.3. Stundenmittelwerte der bedarfsabhängig geregelten Vorlauftemperatur (Simulation: Neubau, Messung: Versuchshaus (Altbau) vom 15.12.-31.12.2003)	92
17.4. Regelung der Raumtemperatur bei unterschiedlichen Lastverhältnissen (ausgewähltes Beispiel, 09.01.04) . . . . .	93

---

17.5. Verlauf der Raumtemperatur und Reaktion der Pumpe auf eine hydraulische Beeinflussung (Anhebung der Solltemperatur im Nachbarraum) . . . . .	94
17.6. Verlauf der Raumtemperatur bei Regelung mit Dezentraler Pumpe und bei Regelung mit Thermostatventil (9 aufeinanderfolgende Tage) . . . . .	95
17.7. Verlauf der Raumtemperatur bei Regelung mit Dezentraler Pumpe und bei Regelung mit Thermostatventil unter der Wirkung einer großen Heizleistungsreserve . . . . .	96
17.8. Aufheizvorhänge mit und ohne aktivierter Schnellaufheizfunktion (Vorlauf-temperatur mit Schnellaufheizfunktion: 85°C, Vorlauftemperatur ohne Schnellaufheizfunktion: 50°C) . . . . .	98
17.9. Ergebnis der Hochrechnung des gemessenen Brennstoffverbrauches auf den jährlichen Brennstoffverbrauch . . . . .	100
17.10. Jährlicher Brennstoffverbrauch und Brennstoffkosten (4,7Cent/kWh) . . . . .	101
17.11. Aufteilung des Brennstoffverbrauches . . . . .	102
17.12. Einfluss eines zusätzlichen Anstieges der mittleren Gebäudetemperatur (Heizperiodenmittelwert) bei der mit Thermostatventilen ausgerüsteten Vergleichsanlage . . . . .	104
17.13. Zunahme des Jahresheizwärmebedarfes bei Raumtemperaturerhöhung in Abhängigkeit des Gebäudetypes nach ENDER U.A. [17] und FEIST [18] . . . . .	105
17.14. Zunahme der Jahresheizwärmeeinsparung verschiedener Gebäudetypen bei gleicher Raumtemperaturabsenkung (Berechnung auf Grundlage der Werte von ENDER U.A. [17] sowie FEIST [18], vgl. Abb 17.13) . . . . .	105
17.15. Übertragung der gemessenen relativen Jahresbrennstoffeinsparung auf andere Gebäudetypen . . . . .	106
17.16. Abhängigkeit der Aufwandszahl und des Brennstoffbedarfes von Heizwärmebedarf und Wohnfläche bei Anlagen mit Thermostatventilen . . . . .	106
17.17. Brennstoffeinsparung als Funktion des Heizwärmebedarfes bei Ein- und Zweifamilienhäusern . . . . .	107
A.1. Typ 1.1 : Kategorie „Gebäude mit einer Wohnung“ - EFH mit einer Wohnung	117
A.2. Typ 1.2, -1.3 : Kategorie „Gebäude mit einer Wohnung“ - DHH (Typ 1.2), RH (Typ 1.3) mit einer Wohnung . . . . .	117
A.3. Typ 2 : Kategorie „Gebäude mit zwei Wohnungen“ - MFH mit zwei Wohnungen . . . . .	118
A.4. Typ 3 : Kategorie „Gebäude mit drei bis sechs Wohnungen“ - MFH mit vier Wohnungen . . . . .	118
A.5. Typ 4 : Kategorie „Gebäude mit sieben bis zwölf Wohnungen“ - MFH mit acht Wohnungen . . . . .	118
A.6. Typ 5 : Kategorie „Gebäude mit dreizehn und mehr Wohnungen“ - MFH mit sechzehn Wohnungen . . . . .	119
B.1. Grundriss Kellergeschoss . . . . .	121
B.2. Grundriss Erdgeschoss . . . . .	122
B.3. Grundriss Obergeschoss . . . . .	123



---

## Tabellenverzeichnis

7.1. Erforderliche Förderhöhe für den Strömungswege im ungünstigsten Stromkreis bei verschiedenen Typgebäuden ohne TRV . . . . .	32
7.2. Erforderliche Förderhöhe für dezentrale Pumpen . . . . .	36
7.3. Bereich der Auslegungsleistung von Heizflächen (Leistungen gerundet) . . . . .	39
10.1. Elektroenergieeinsparung bei der Installation von dezentralen Pumpen gegenüber zentralen Pumpen (*Entfall der Voreinstellung bei Ersatz des Ventils durch die dezentrale Pumpe) . . . . .	53
15.1. Geometrische und thermische Eigenschaften des Versuchsgebäudes (Ausgangszustand vor Dachgeschossausbau) . . . . .	79
B.1. Ergebnisse der Blower-Door-Messung . . . . .	125



---

## Formelzeichen

Symbol	Bedeutung	Einheit
$A$	Fläche	$m^2$
$A_N$	Nutzfläche	$m^2$
$E_V$	Bereinigter Energieverbrauch (Brennstoff) im Bezugszeitraum	$Wh$
$E_{V,g}$	Gemessener Energieverbrauch	$Wh$
$g$	Fallbeschleunigung $9,81 m/s^2$	
$G$	Gradtagszahl im Bezugszeitraum	$Kd$
$G_{15}$	Gemessene Heizgradtage	$Kd$
$G_{15,m}$	Durchschnittliche jährliche Heizgradtage am Bezugsstandort	$Kd$
$H$	Förderhöhe	$mWS$
$\dot{m}$	Massestrom	$kg/s$
$n_{50}$	Luftwechsel bei 50Pa Differenzdruck	$Wh$
$R$	spezifischer Reibungsdruckverlust	$Pa/m$
$t_i$	Raumtemperatur	$^{\circ}C$
$t_{RL}$	Rücklauftemperatur	$^{\circ}C$
$t_{VL}$	Vorlauftemperatur	$^{\circ}C$
$\Delta H$	Höhendifferenz	$m$
$\Delta p_{th}$	Thermodynamischer Umtriebsdruck	$Pa$
$\Delta \rho$	Dichtedifferenz	$kg/m^3$
$\vartheta_{m,n}$	Mittlere Außentemperatur eines Heiztages	$^{\circ}C$

## Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
ABL	alte Bundesländer
DzP	Dezentrale Pumpe
EnEV	Energieeinsparverordnung
HK	Heizkörper
MID	Magnetisch-induktives Durchflussmessprinzip
NBL	neue Bundesländer
P	Pumpe
P	Proportional
PI	Proportional-Integral
R	Widerstand
RF	Regelfunktion
WSVO	Wärmeschutzverordnung



---

# 1. Aufgabenstellung

Mit der Umsetzung aktueller nationaler und internationaler Verordnungen zur Verbesserung des Wärmeschutzes werden sowohl im Neubaubereich als auch bei vollständiger Anlagen- und Gebäudesanierung die gewünschten Zielstellungen erreicht. Der gegenüber dem Neubaubereich weitaus größere Gebäudebestand wird von diesen Verordnungen nur eingeschränkt beeinflusst. Damit ergeben sich für Pumpen-Warmwasserheizungen im Neu- **und** Altbaubereich deutliche Konsequenzen.

Neue Lösungsansätze sind erforderlich um

- über die im Gebäudebestand trotz hoch entwickelter Einzelkomponenten nur teilweise genutzten Energieeinsparepotentiale zu verfügen,
- eine spürbare Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit in Gebäuden mit hohem Wärmeschutz bei fehlenden dezentralen Aufheizreserve zu vermeiden,
- insbesondere in Gebäuden mit hohem Wärmeschutz die Probleme bei der Regelung dezentraler Heizleistungen im Teillastfall zu beherrschen,
- eine effiziente Betriebsweise von Wärmeerzeugern, insbesondere von Brennwertgeräten zu gewährleisten,
- ein verbrauchssenkendes Nutzerverhalten zu unterstützen.

Auf Grund des erreichten Standes der Technik ist eine Realisierung von Einzellösungen nicht zielführend. Nachhaltige Lösungskonzepte erfordern daher eine Optimierung des Gesamtsystems. Diesbezüglich ermöglicht die Realisierung eines drosselfreien Heizsystems durch dezentral angeordnete Pumpen einen erfolgversprechenden Lösungsansatz.

Die sich daraus ergebenden gravierenden Auswirkungen auf die Auslegung und den Betrieb von Heizungsanlagen erfordern

- eine Systemoptimierung,
- eine Systembewertung mit den Schwerpunkten Energieeinsparung und Komfort,
- die Spezifikation der dezentralen Pumpen bezüglich Fördermenge und Förderhöhe,
- die Ermittlung von Einsatzgrenzen,
- die Ermittlung einer Auslegungssystematik,
- die Entwicklung spezieller Regelungs- und Steuerungsalgorithmen.

