
DIE ROLLE DER ELEKTRISCHEN WÄRMEPUMPE IM GEG



Sebastian Herkel

Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE

Auf dem Weg zu einem einheitlichen
Gebäudeenergierecht
– lessons learned

Würzburg, 16. November 2017

WICHTIGE TECHNOLOGIE FÜR DIE ZUKUNFT

Regenerative Energien Modell – Deutschland »REMod-D«

Minimierung der Transformationskosten →

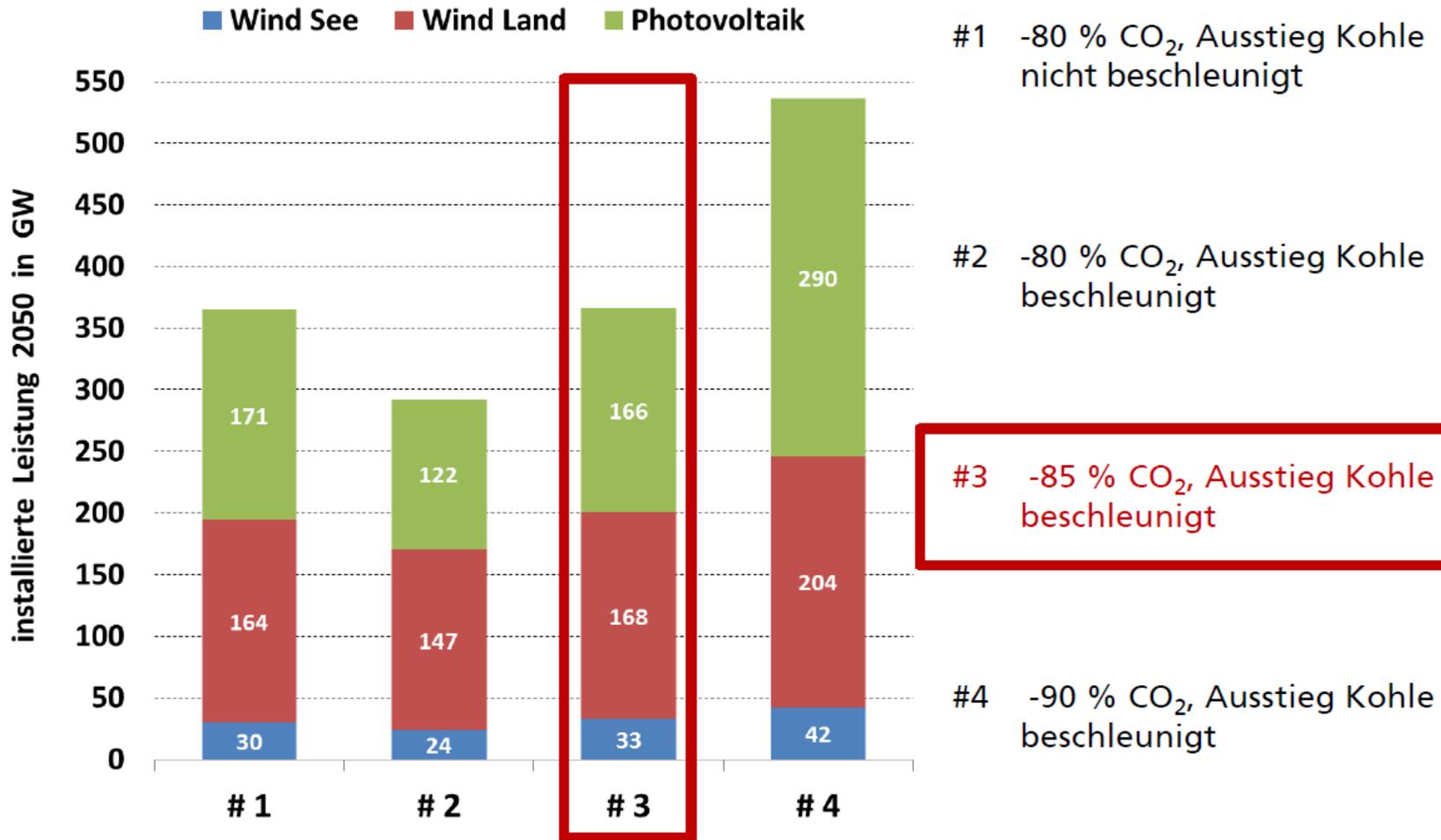
Modellierung eines Energiesystems mit dominantem Anteil erneuerbarer Energien

- Alle Verbrauchs-sektoren
- Stundengenaue Modellierung

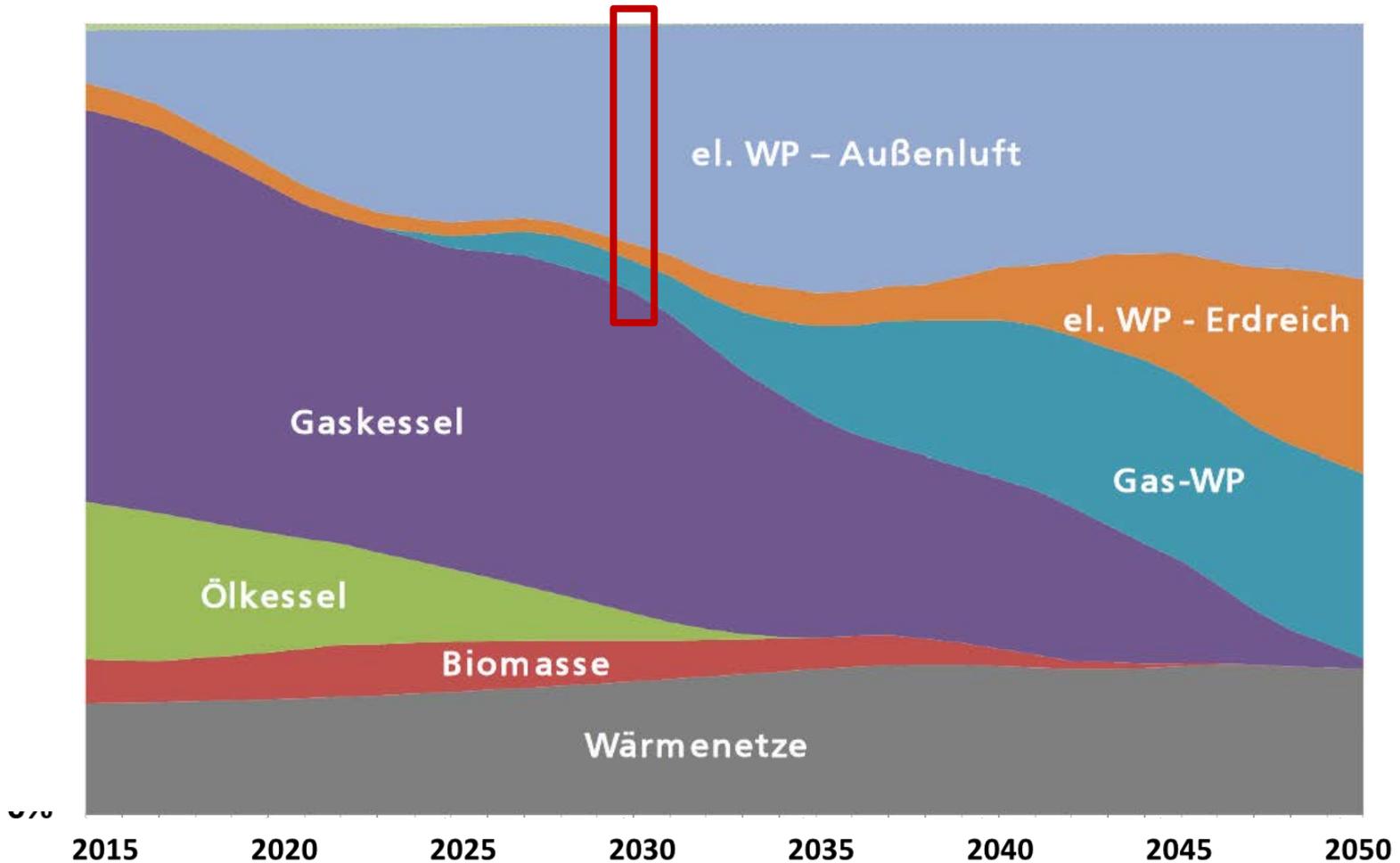


Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050

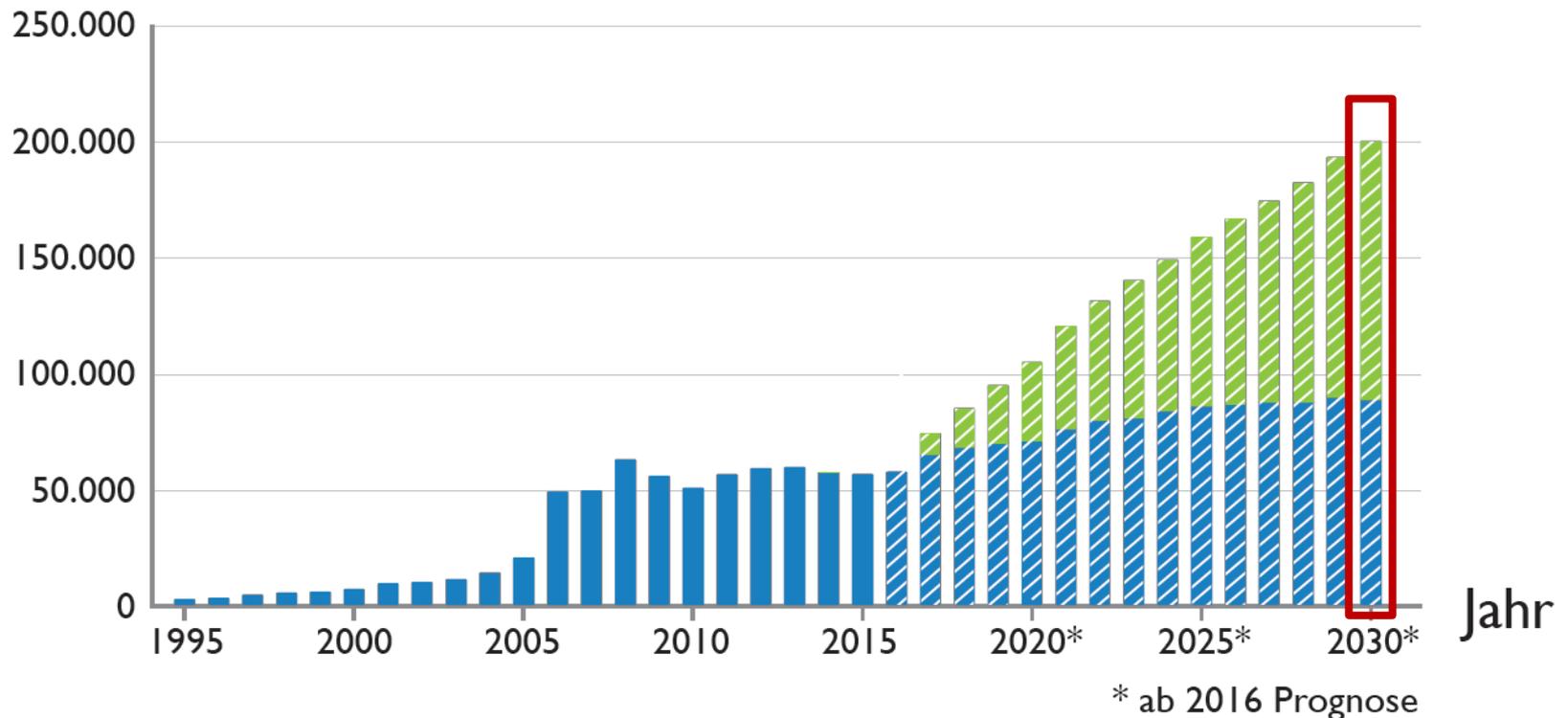


Entwicklung Heizungstechniken – 85%-Szenario



Anteil der Wärmepumpen am Wärmeerzeugerabsatz von 1978 bis 2030 (ab 2016 Prognose in zwei Szenarien)

Quelle: BWP-Branchenstudie 2015



REFERENTENENTWURF GEBÄUDEENERGIEGESETZ

§ 38 Nutzung von Geothermie und Umweltwärme

Anforderung an elektrische Wärmepumpen (2)

1. die nutzbare Wärmemenge mindestens mit der folgenden Jahresarbeitszahl bereitgestellt werden:
 - a) 3,7 bei Luft/Wasser-Wärmepumpen und Luft/Luft-Wärmepumpen,
 - b) 3,5 bei Luft/Wasser-Wärmepumpen und Luft/Luft-Wärmepumpen, wenn die Warmwasserbereitung des Gebäudes durch die Wärmepumpe oder zu einem wesentlichen Anteil durch andere Erneuerbare Energien als Geothermie und Umweltwärme erfolgt,
 - c) 4,0 bei allen nicht in den Buchstaben a und b genannten Wärmepumpen und
 - d) 3,8 bei allen nicht in den Buchstaben a und b genannten Wärmepumpen, wenn die Warmwasserbereitung des Gebäudes durch die Wärmepumpe oder zu einem wesentlichen Anteil durch andere erneuerbare Energien als Geothermie und Umweltwärme erfolgt,

§ 38 Nutzung von Geothermie und Umweltwärme

Anforderung an elektrische Wärmepumpen (2)

1.
2. bis zum 31. Dezember 2018 die Wärmepumpe verfügen über
 - a) einen Wärmemengen- und Stromzähler, deren Messwerte die Berechnung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ermöglichen, oder
 - b) eine Anzeige, die neben der nach Nummer 1 vorgeschriebenen Mindestjahresarbeitszahl direkt die von der Wärmepumpenanlage erreichte Jahresarbeitszahl als gemittelten Wert der letzten zwölf Monate ausweist, wobei in beiden Fällen die Strom- und Wärmemengen aller Systemkomponenten der gesamten Heizungsanlage durch Messungen zu erfassen sind,
3. ab dem 1. Januar 2019: b) verpflichtend

§ 38 Nutzung von Geothermie und Umweltwärme

Anforderung an Gaswärmepumpen (3)

1. die nutzbare Wärmemenge mit einer Jahresarbeitszahl von mindestens 1,2 bereitgestellt werden,
2. bis zum 31. Dezember 2018 die Wärmepumpe verfügen über
 - a) einen Wärmemengen- und Brennstoffzähler, deren Messwerte die Berechnung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ermöglichen, oder
 - b) eine Anzeige, die neben der nach Nummer 1 vorgeschriebenen Mindestjahresarbeitszahl direkt die von der Wärmepumpenanlage erreichte Jahresarbeitszahl als gemittelten Wert der letzten zwölf Monate ausweist, wobei in beiden Fällen die Brennstoff- und Wärmemengen aller Systemkomponenten der gesamten Heizungsanlage durch Messungen zu erfassen sind,
3. ab dem 1. Januar 2019 nur noch b)

§ 38 Nutzung von Geothermie und Umweltwärme

Berechnung der Jahresarbeitszahl (4)

Die Jahresarbeitszahl nach Absatz 2 Nummer 1 und nach Absatz 3 Nummer 1 wird nach den anerkannten Regeln der Technik berechnet. Die Berechnung ist mit folgenden Variablen durchzuführen:

1. mit der Leistungszahl der Wärmepumpe,
2. mit dem Pumpstrombedarf für die Erschließung der Wärmequelle,
3. mit der Auslegungs-Vorlauftemperatur und bei Luft/Luft-Wärmepumpen mit der Auslegungs-Zulauftemperatur für die jeweilige Heizungsanlage,
4. bei Sole/Wasser-Wärmepumpen mit der Soleeintritts-Temperatur,
5. bei Wasser/Wasser-Wärmepumpen mit der primärseitigen Wassereintritts-Temperatur und
6. bei Luft/Wasser- und Luft/Luft-Wärmepumpen zusätzlich unter Berücksichtigung der Klimaregion.

EFFIZIENZ DER WÄRMEPUMPEN

Effizienzkennzahlen

COP

JAZ

η , (eta)

SCOP

JAZ

EER

SEER

SPF

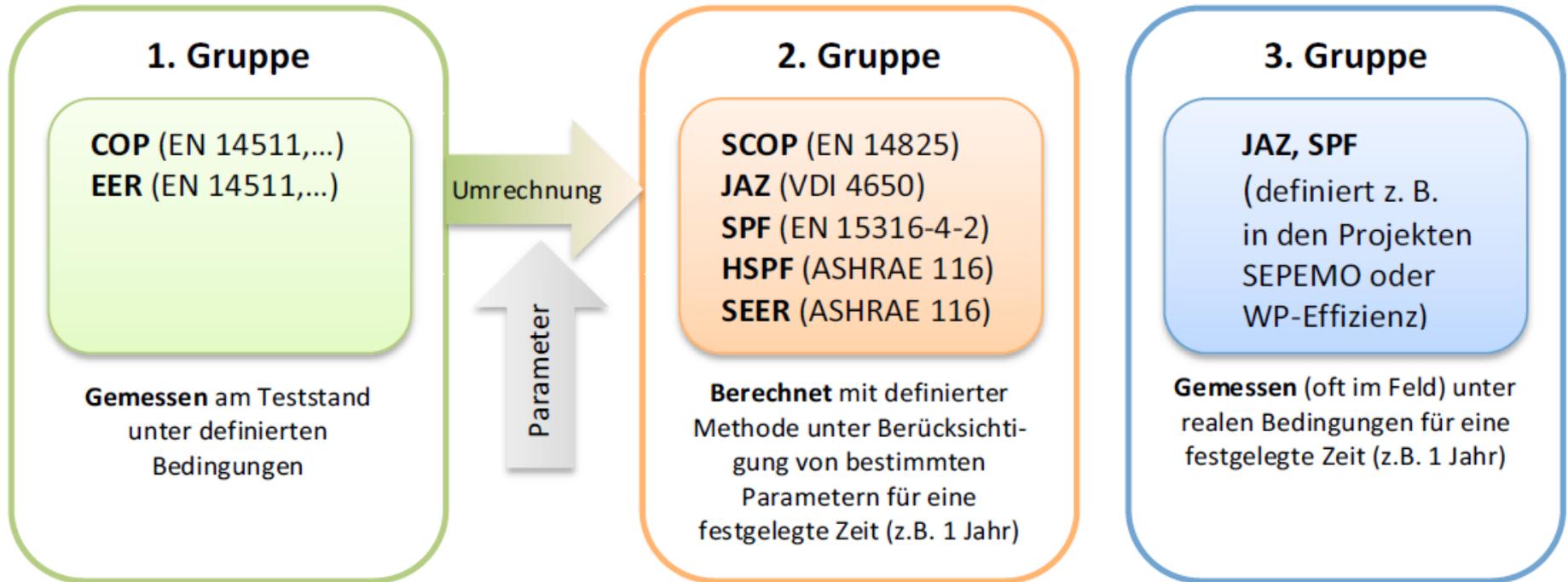
SPF

APF

HSPF

CSPF

Effizienz-Kennzahlen



VDI 4650: Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen- Anlagen

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen Elektrowärmepumpen zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung Calculation of the seasonal coefficient of performance of heat pumps Electric heat pumps for space heating and domestic hot water	VDI 4650 Blatt 1 / Part 1 Ausg. deutsch/englisch Issue German/English
--	--	---

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweise	5
3 Begriffe	6
4 Formelzeichen, Abkürzungen und Indizes	8
5 Grundlagen der Berechnung	10
5.1 Bilanzgrenze	11
5.2 Einflussfaktoren auf die Berechnung der Jahresarbeitszahlen	11
5.3 Zusätzliche Annahmen und Einflussfaktoren für die Trinkwassererwärmung	13
5.4 Betriebsweise einer Wärmepumpe	14
6 Berechnung der Jahresarbeitszahl	17
6.1 Berechnung der Jahresarbeitszahl Raumheizung	17

Contents	Page
Preliminary note	2
Introduction	2
1 Scope	4
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	6
4 Symbols, abbreviations and indices	8
5 Basics of calculation	10
5.1 System boundaries	11
5.2 Factors influencing the calculation of the seasonal coefficients of performance	11
5.3 Additional assumptions and influencing factors for domestic hot water heating	13
5.4 Operating mode of the heat pump	14
6 Calculation of the seasonal coefficient of performance	17
6.1 Calculation of the seasonal coefficient of performance for space heating	17
6.2 Calculation of the seasonal coefficient of performance for domestic hot water heating	29
6.3 Mono-energetic and bivalent operation	39
6.4 Solar support	41
6.5 Cooling	
6.6 Calculation of the overall seasonal coefficient of performance	44
7 Primary energy assessment	45
7.1 Monovalent heat pump system	45
7.2 Bivalent heat pump system with several heat generators	46

H, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved (a) © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2016

Zu beziehen durch

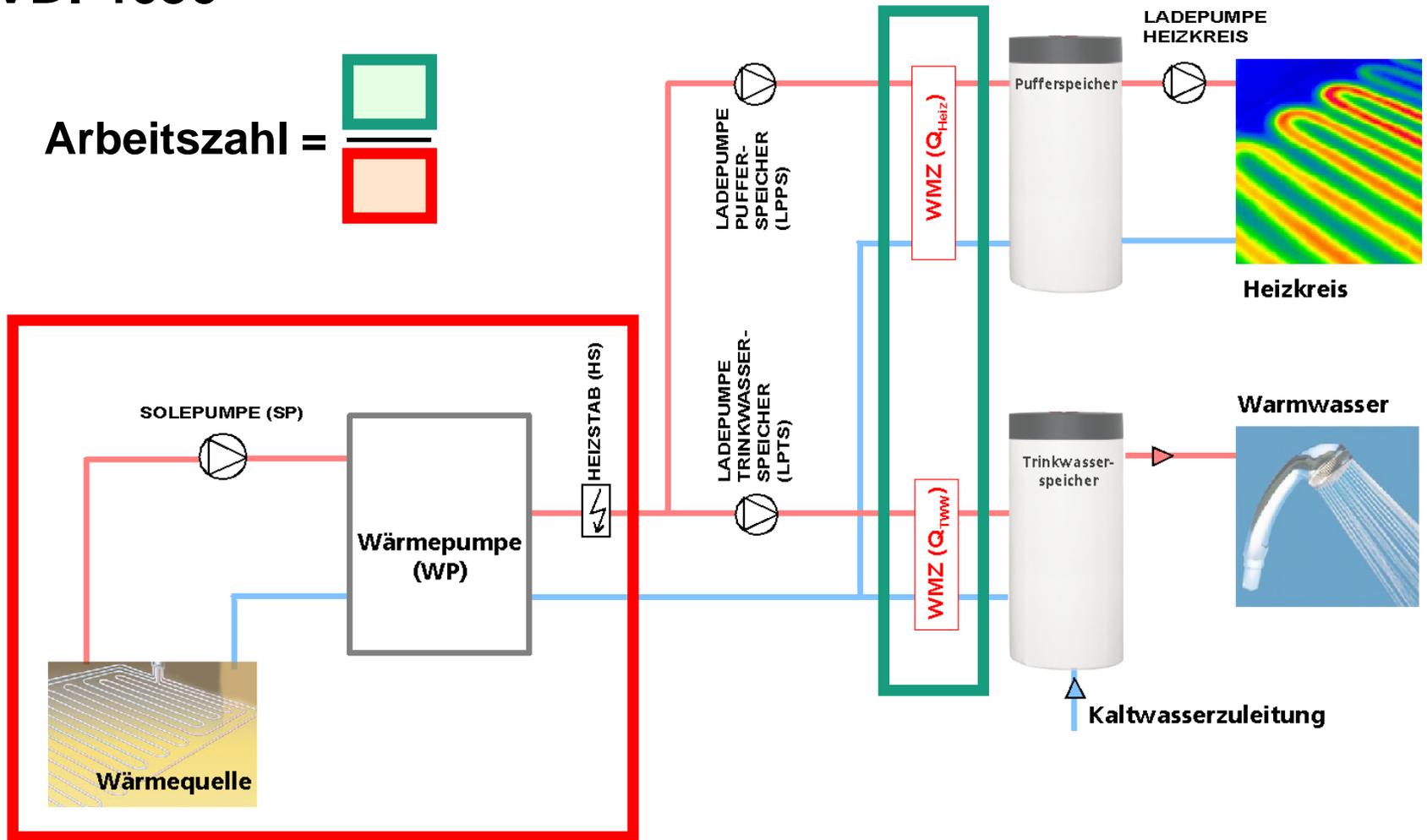
JAZ-Rechner | Bundesverband Wärmepumpe (BWP) eV

<https://www.waermepumpe.de/jazrechner/> ▼

Mit dem JAZ-Rechner können Jahresarbeitszahlen verschiedener Wärmepumpen berechnet werden. Der Report am Ende gilt als Nachweis beim BAFA.

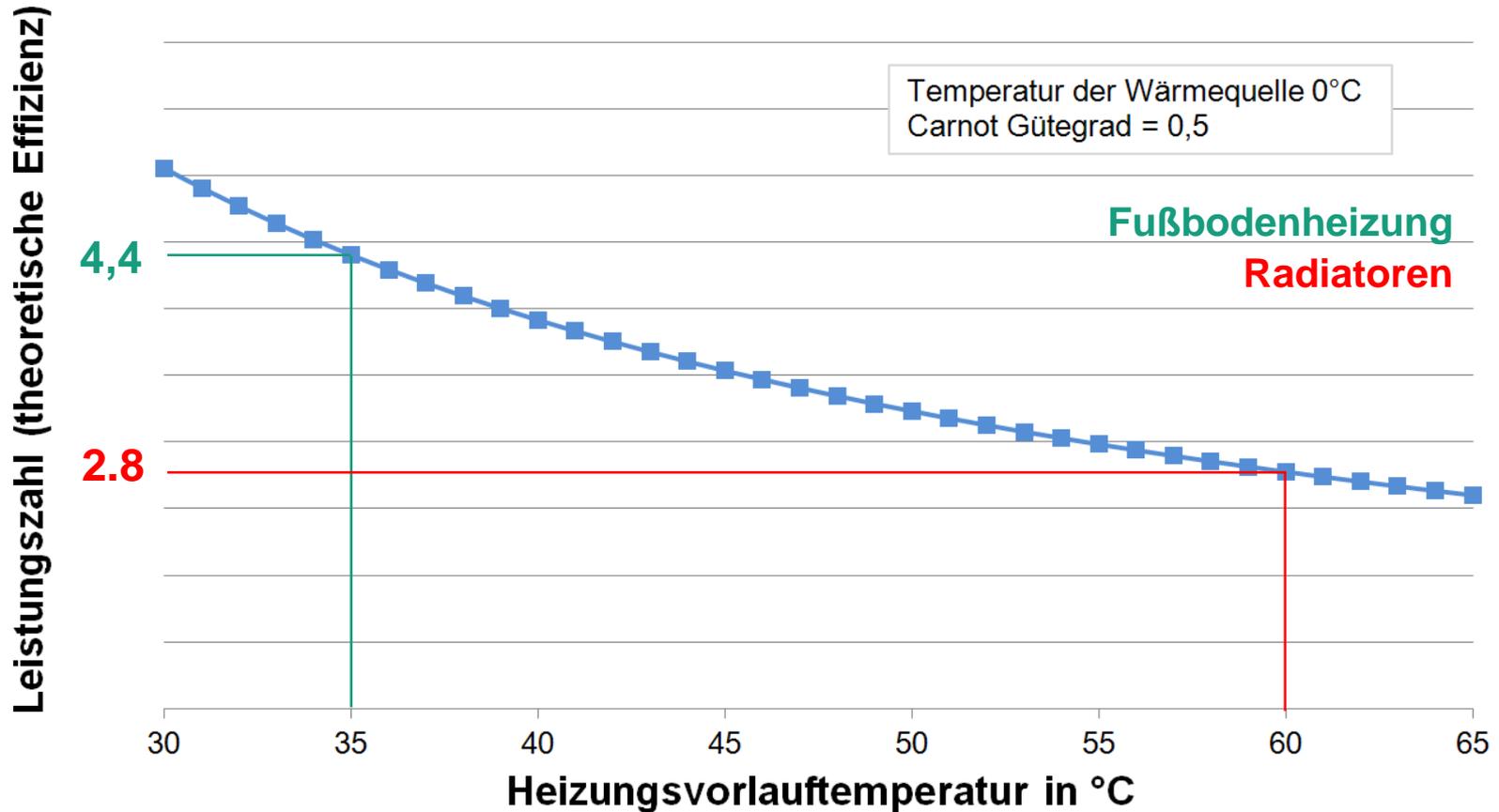
Systemgrenze für die Berechnung der Arbeitszahlen VDI 4650

Arbeitszahl =  / 



Effizienz der Wärmepumpe

Haupteinfluss Temperaturhub





Feldtest

Neugebaute Häuser und Bestandsgebäude



Meistens Einfamilienhäuser

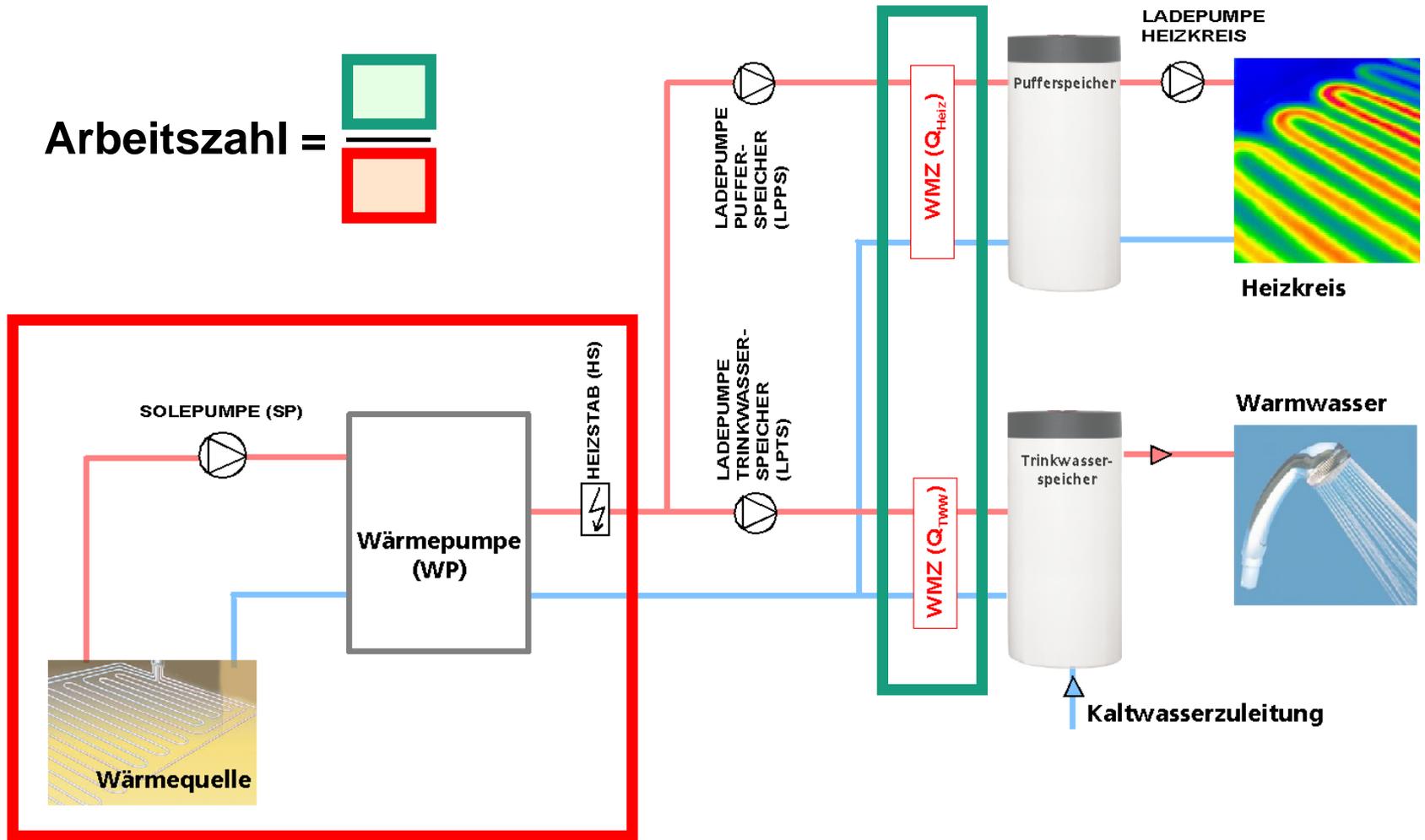


Beheizte Wohnfläche: 100-300 m²



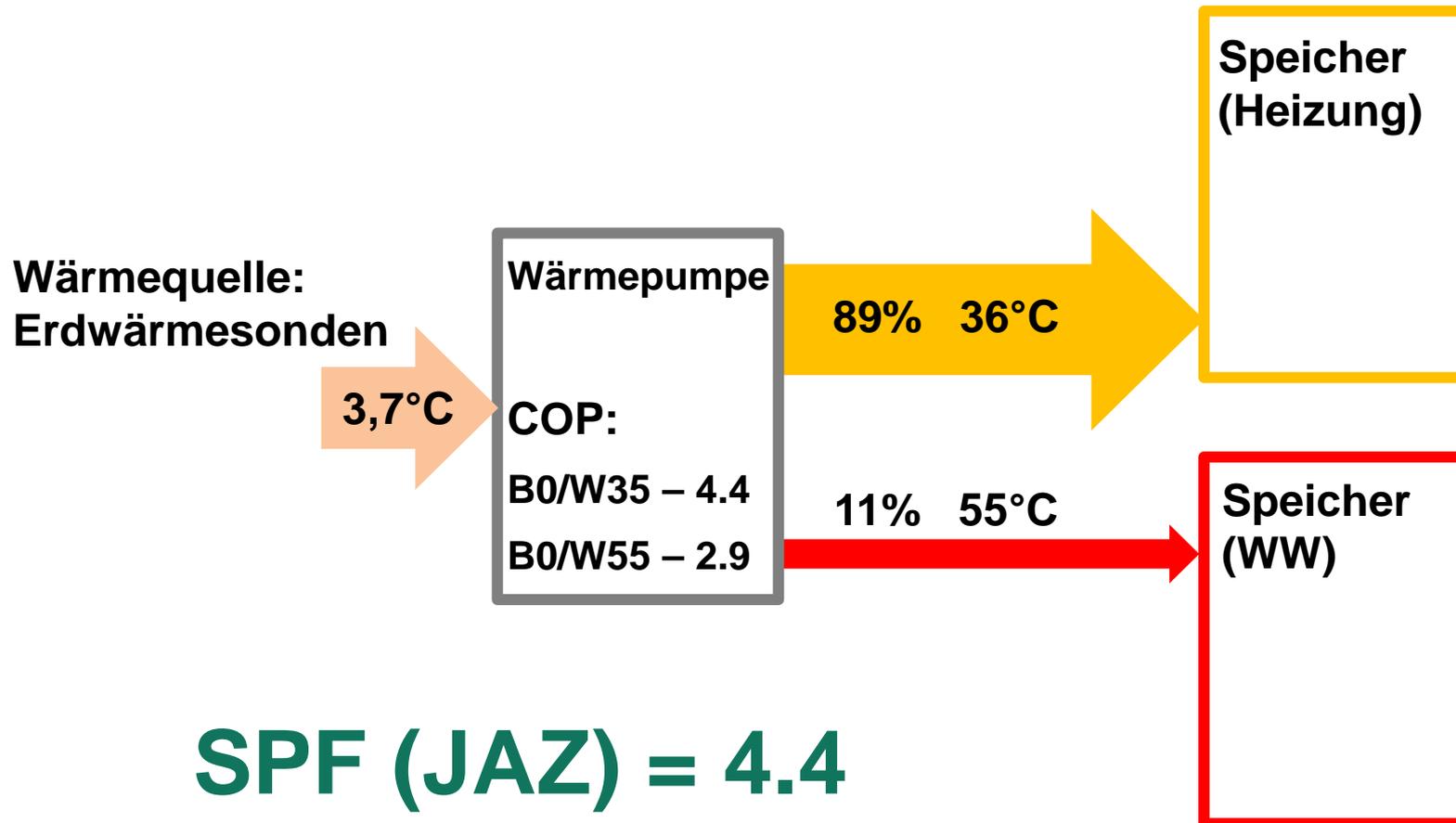
Systemgrenze für die Berechnung der Arbeitszahlen

Arbeitszahl =  / 



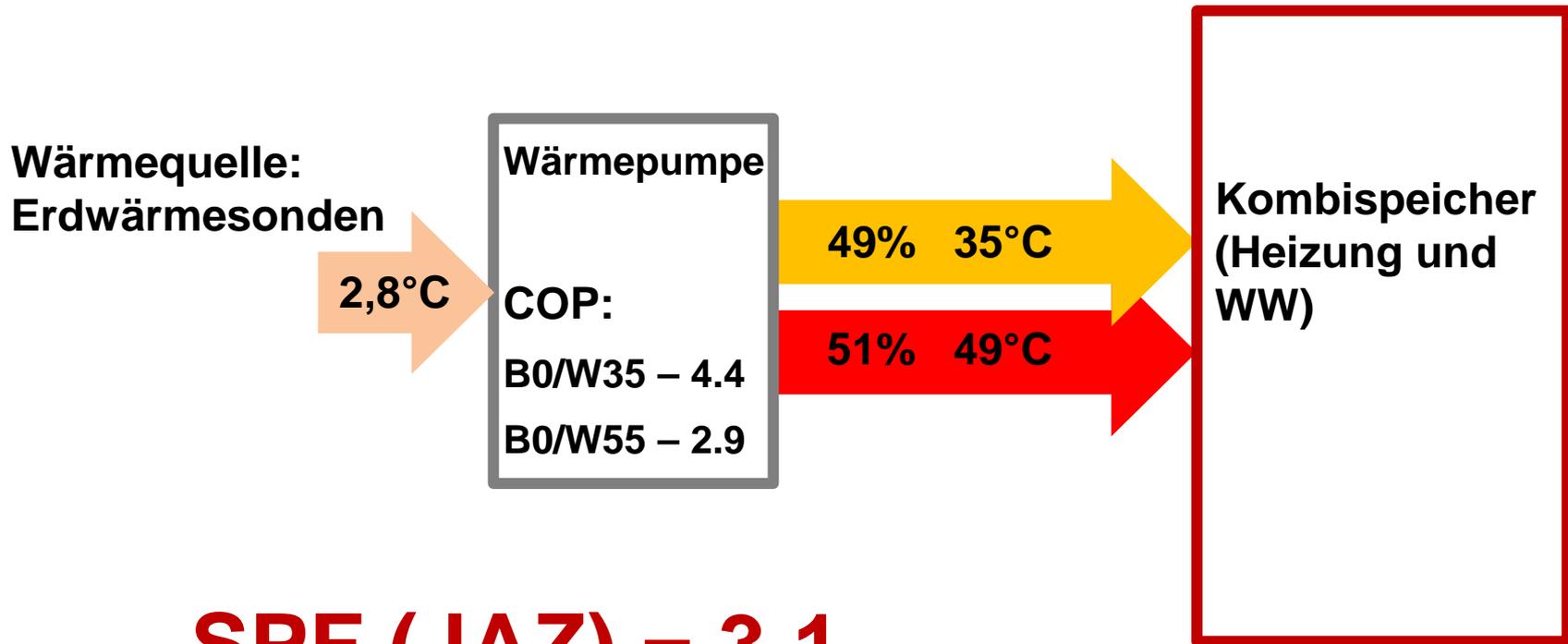
Anlagenkonfiguration

ein Beispiel für gute Ergebnisse



Anlagenkonfiguration

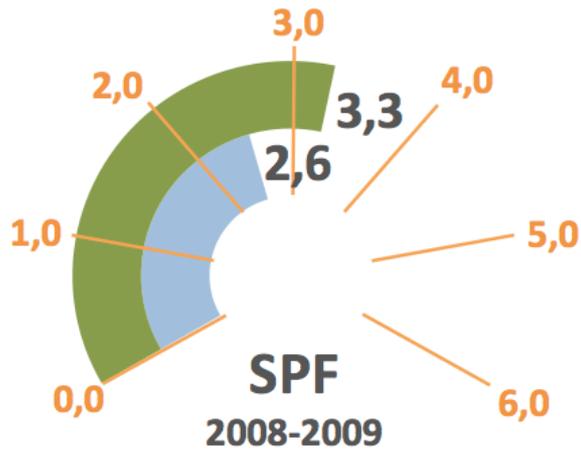
ein Beispiel für schlechte Ergebnisse



SPF (JAZ) = 3.1

Arbeitszahlen – Überblick

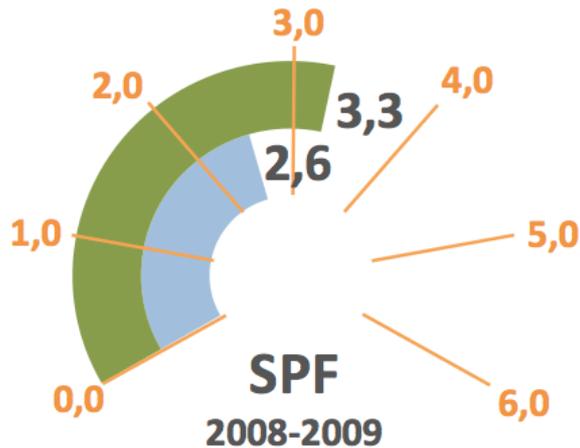
WP im Gebäudebestand



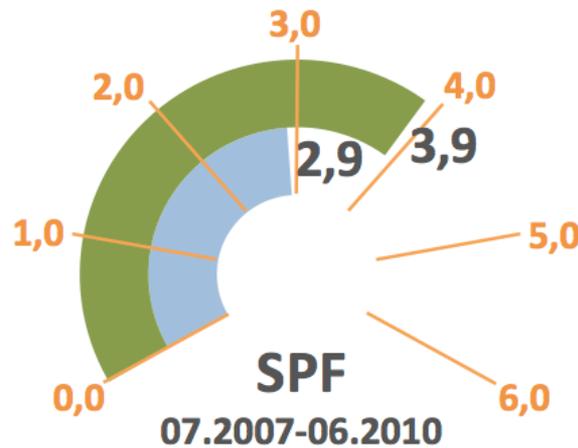
- Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen
- Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Arbeitszahlen – Überblick

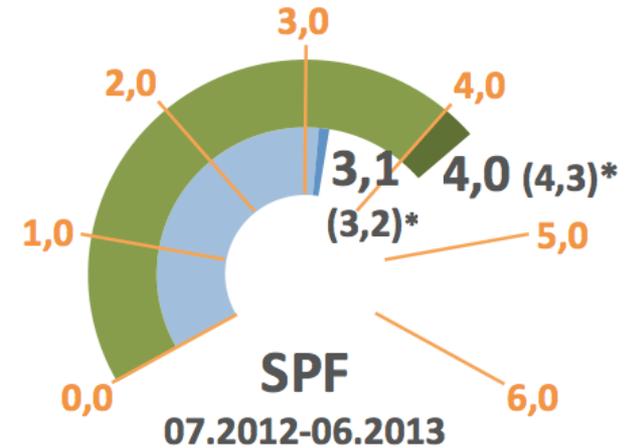
WP im Gebäudebestand



Neubau (WP Effizienz)



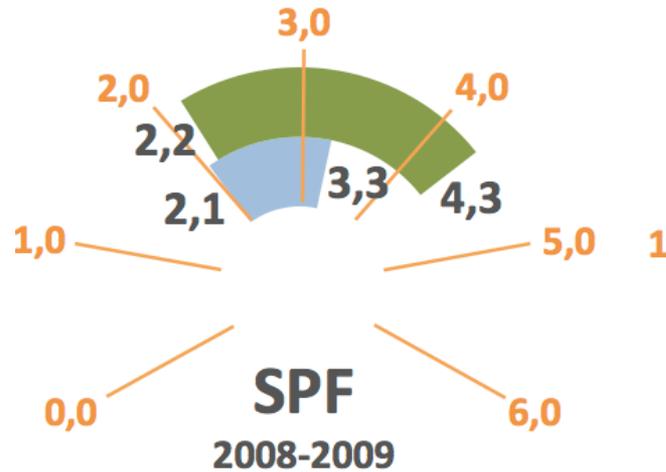
Neubau (WP Monitor)



- Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen
- Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen
- * neue Anlagen

Arbeitszahlen – Überblick, Bandbreiten

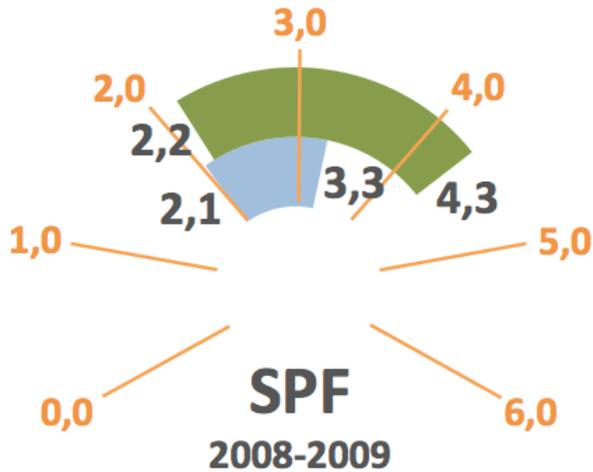
WP im Gebäudebestand



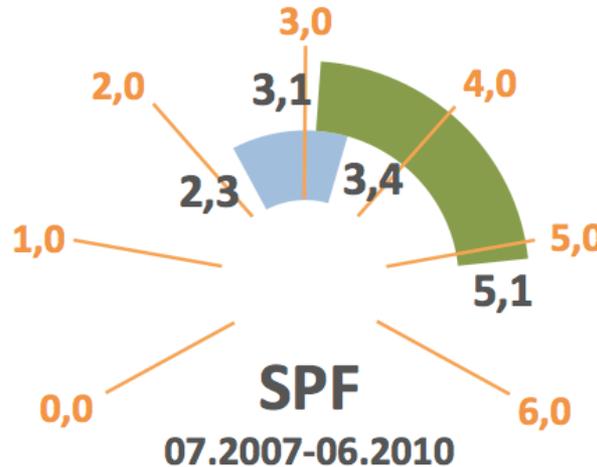
- Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen
- Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

Arbeitszahlen – Überblick, Bandbreiten

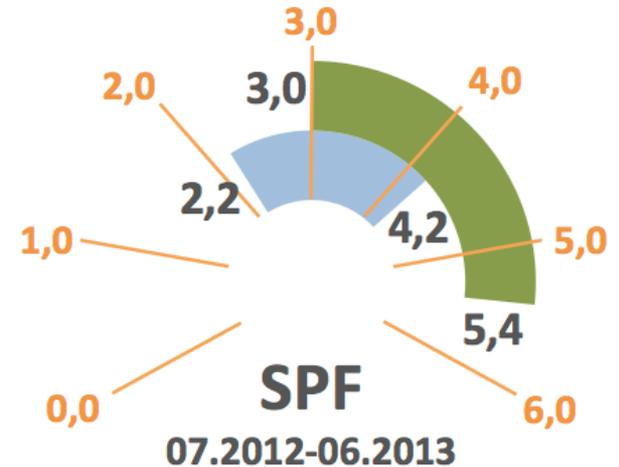
WP im Gebäudebestand



Neubau (WP Effizienz)



Neubau (WP Monitor)



- Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen
- Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen

§ 38 Nutzung von Geothermie und Umweltwärme

Anforderung an elektrische Wärmepumpen (2)

1. die nutzbare Wärmemenge mindestens mit der folgenden Jahresarbeitszahl bereitgestellt werden:
 - a) 3,7 bei Luft/Wasser-Wärmepumpen und **Luft/Luft-Wärmepumpen**,
 - b) 3,5 bei Luft/Wasser-Wärmepumpen und Luft/Luft-Wärmepumpen, wenn die Warmwasserbereitung des Gebäudes durch die Wärmepumpe oder zu einem wesentlichen Anteil durch andere Erneuerbare Energien als Geothermie und Umweltwärme erfolgt,
 - c) 4,0 bei allen nicht in den Buchstaben a und b genannten Wärmepumpen und
 - d) 3,8 bei allen nicht in den Buchstaben a und b genannten Wärmepumpen, wenn die Warmwasserbereitung des Gebäudes durch die Wärmepumpe oder zu einem wesentlichen Anteil durch andere erneuerbare Energien als Geothermie und Umweltwärme erfolgt,

Systemintegration

... schöne neue Welt ...



Systemintegration

... und wo es klemmt ...

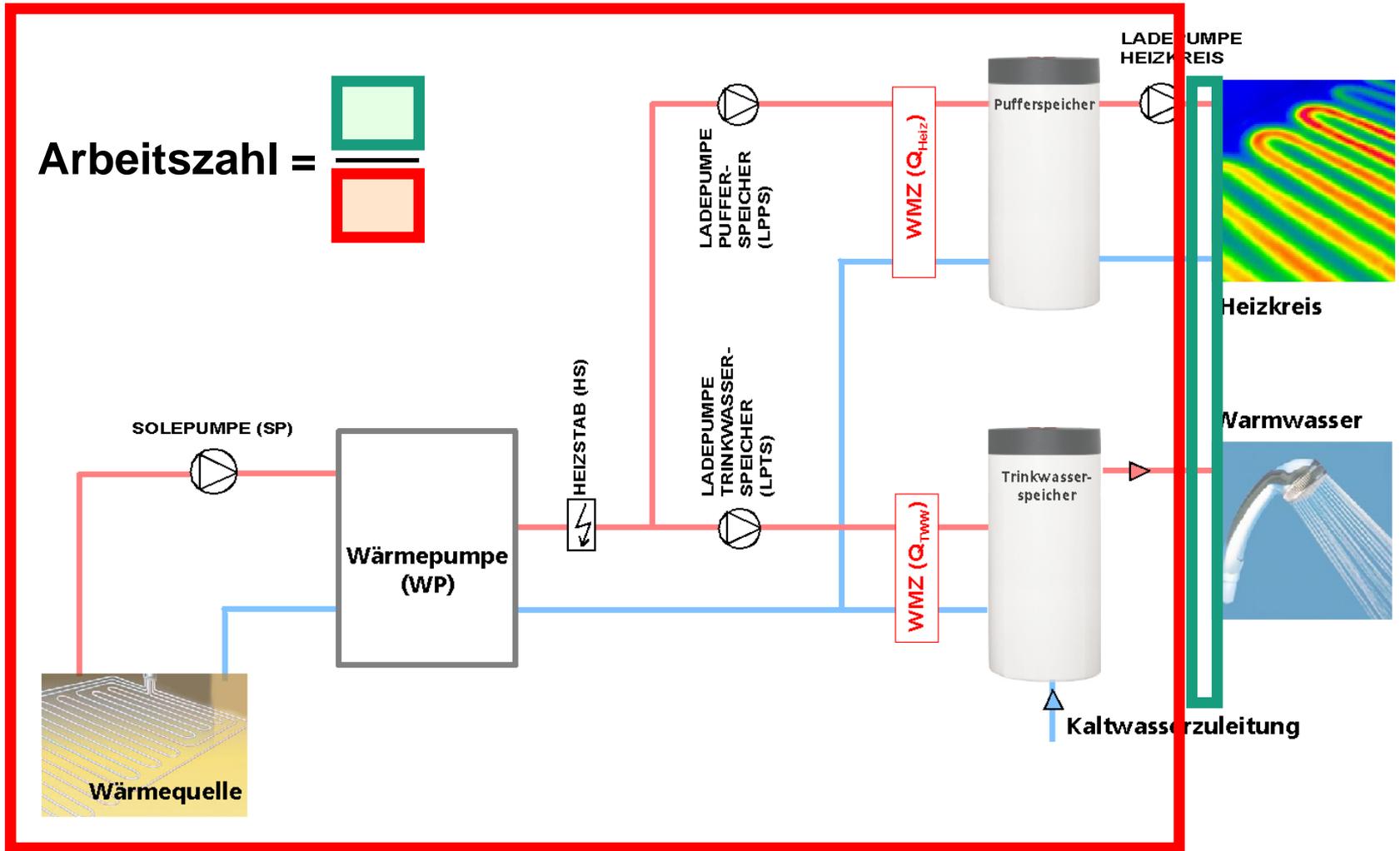


§ 38 Nutzung von Geothermie und Umweltwärme

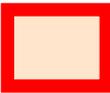
Anforderung an elektrische Wärmepumpen (2)

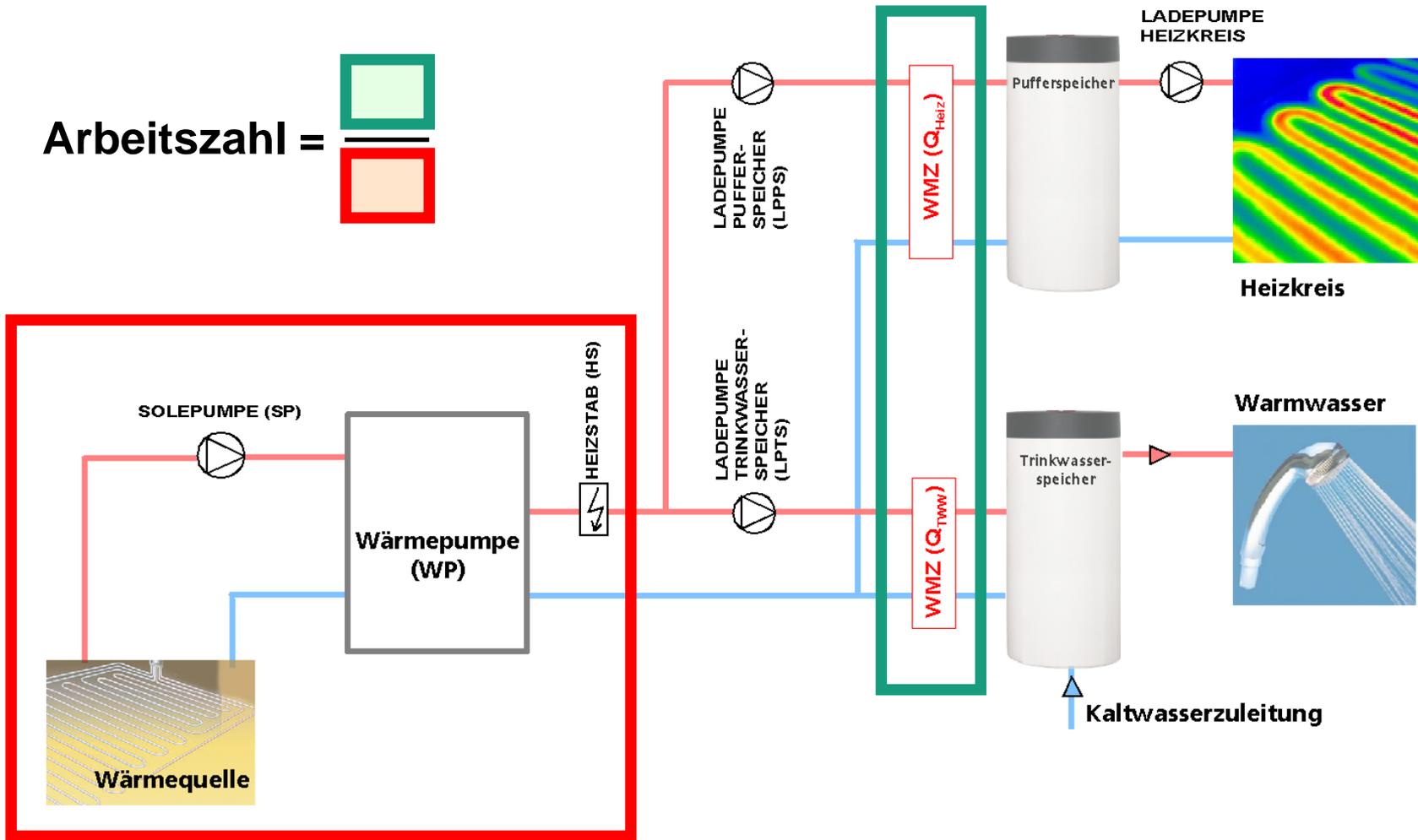
1.
2. bis zum 31. Dezember 2018 die Wärmepumpe verfügen über
 - a) einen Wärmemengen- und Stromzähler, deren Messwerte die Berechnung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ermöglichen, oder
 - b) eine Anzeige, die neben der nach Nummer 1 vorgeschriebenen Mindestjahresarbeitszahl direkt die von der Wärmepumpenanlage erreichte Jahresarbeitszahl als gemittelten Wert der letzten zwölf Monate ausweist, **wobei in beiden Fällen die Strom- und Wärmemengen aller Systemkomponenten der gesamten Heizungsanlage durch Messungen zu erfassen sind,**
3. ab dem 1. Januar 2019: b) verpflichtend

Systemgrenze für die Messung der Arbeitszahlen



Systemgrenze für die Berechnung der Arbeitszahlen

Arbeitszahl =  / 



VDI 4645

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Planung und Dimensionierung
von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen
in Ein- und Mehrfamilienhäusern

VDI 4645
Entwurf

Design and dimensioning of heating plants
with heat pumps in single and multi-family
houses

Einsprüche bis 2017-03-31

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchsportal
<http://www.vdi.de/einspruchsportal>
- in Papierform an
VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt
Fachbereich Energiewandlung und -anwendung
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweise	2
3 Begriffe	2
4 Formelzeichen, Abkürzungen und Indizes	4
5 Bilanzgrenzen und Effizienzbetrachtung	5
5.1 Bilanzgrenzen	5
5.2 Effizienzbetrachtung einer Elektro-Wärmepumpe	5
5.3 Effizienzbetrachtung einer Gas-Wärmepumpe	6
6 Voruntersuchung	6
6.1 Genehmigungsrechtliche Rahmenbedingungen	6
6.2 Energiebezug	6
6.3 Besonderheiten bei Elektro-Wärmepumpen	6
6.4 Besonderheiten bei mit Brennstoff angetriebenen Wärmepumpen	7
6.5 Anforderungen an den Aufstellraum	7
7 Zuständigkeiten – Energieversorger, Behörden, Bergamt, Handwerk, Planung	9
8 Grundlagenermittlung	9
8.1 Bestandsaufnahme	9
8.2 Heizlast	9
8.3 Wärmeübergabe	10
8.4 Gebäudekühlung	13
8.5 Trinkwassererwärmung	15
8.6 Dimensionierung der Wärmepumpe	17
8.7 Betriebsweise	18
8.8 Wärmespeicher	18
8.9 Wärmequellen	19
8.10 Nutzung von Solarenergie	23
8.11 Anlagenkonzept	24
8.12 Angebotserstellung	24
9 Detailplanung der Komponenten und der Gesamtanlage	24
9.1 Vorbereitung der Detailplanung	24
9.2 Heizlast	26
9.3 Wärmeübergabe	26
9.4 Gebäudekühlung	29
9.5 Trinkwassererwärmung	29

Inhalt	Seite
9.6 Dimensionierung der Wärmepumpe	32
9.7 Auswahl der Betriebsweise der Wärmepumpe	34
9.8 Wärmespeicher und deren Dimensionierung	37
9.9 Wärmequellen	38
9.10 Nutzung von Solarenergie	39
9.11 Anlagenkonzept	39
9.12 Erstellung der Ausführungs- und Genehmigungsunterlagen	44
10 Auftragsvergabe	45
11 Inbetriebnahme und Unterweisung	45
11.1 Inbetriebnahme der Anlage	45
11.2 Dokumentation und Unterweisung des Nutzers	47
12 Inspektion und Wartung der Anlage	48
Anhang A Relevante Gesetze, Verordnungen, Normen	49
Anhang B Auslegungsbeispiel für ein Flächenheizsystem	53
Anhang C Auslegungsbeispiel für ein Heizkörpersystem	55
Anhang D Checkliste – Konzept- und Detailplanung von Wärmepumpenanlagen	57
Anhang E Ablaufplanfestlegung von Betriebsweisen und Wahl der Wärmepumpe	61
Anhang F Hydraulische Schaltungen	65
Anhang G Effizienzbewertung von Elektro-Wärmepumpen	80
Anhang H Kostenrechnung für eine Elektro-Wärmepumpe	84
Anhang I Beispiel Anlagenbuch F-Gase-Verordnung	86
Anhang J Zapfprofile	87
Anhang K Berechnungsbeispiel zur Auswahl der Wärmepumpe und Dimensionierung der Bauteile	90
Anhang L Checklisten für Inbetriebnahme/Reglereinstellungen, Fehlersuche, Sicherheitsüberprüfungen und Wartungs-/Inspektionsarbeiten	94
Schrifttum	99

Zu beziehen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2016

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweise	2
3 Begriffe	2
4 Formelzeichen, Abkürzungen und Indizes	4
5 Bilanzgrenzen und Effizienzbetrachtung	5
5.1 Bilanzgrenzen	5
5.2 Effizienzbetrachtung einer Elektro-Wärmepumpe	5
5.3 Effizienzbetrachtung einer Gas-Wärmepumpe	6
6 Voruntersuchung	6
6.1 Genehmigungsrechtliche Rahmenbedingungen	6
6.2 Energiebezug	6
6.3 Besonderheiten bei Elektro-Wärmepumpen	6
6.4 Besonderheiten bei mit Brennstoff angetriebenen Wärmepumpen	7
6.5 Anforderungen an den Aufstellraum	7
7 Zuständigkeiten – Energieversorger, Behörden, Bergamt, Handwerk, Planung	7
8 Grundlagenmittlung	9
8.1 Bestandsaufnahme	9
8.2 Heizlast	9
8.3 Wärmeübergabe	10
8.4 Gebäudekühlung	13
8.5 Trinkwassererwärmung	15
8.6 Dimensionierung der Wärmepumpe	17
8.7 Betriebsweise	18
8.8 Wärmespeicher	18
8.9 Wärmequellen	19
8.10 Nutzung von Solarenergie	23
8.11 Anlagenkonzept	24
8.12 Angebotserstellung	24
9 Detailplanung der Komponenten und der Gesamtanlage	24
9.1 Vorbereitung der Detailplanung	24
9.2 Heizlast	26
9.3 Wärmeübergabe	26
9.4 Gebäudekühlung	29
9.5 Trinkwassererwärmung	29

Inhalt	Seite
9.6 Dimensionierung der Wärmepumpe	32
9.7 Auswahl der Betriebsweise der Wärmepumpe	34
9.8 Wärmespeicher und deren Dimensionierung	37
9.9 Wärmequellen	38
9.10 Nutzung von Solarenergie	39
9.11 Anlagenkonzept	39
9.12 Erstellung der Ausführungs- und Genehmigungsunterlagen	44
10 Auftragsvergabe	45
11 Inbetriebnahme und Unterweisung	45
11.1 Inbetriebnahme der Anlage	45
11.2 Dokumentation und Unterweisung des Nutzers	47
12 Inspektion und Wartung der Anlage	48
Anhang A Relevante Gesetze, Verordnungen, Normen	49
Anhang B Auslegungsbeispiel für ein Flächenheizsystem	53
Anhang C Auslegungsbeispiel für ein Heizkörpersystem	55
Anhang D Checkliste – Konzept- und Detailplanung von Wärmepumpenanlagen	57
Anhang E Ablaufplanfestlegung von Betriebsweisen und Wahl der Wärmepumpe	61
Anhang F Hydraulische Schaltungen	65
Anhang G Effizienzbewertung von Elektro-Wärmepumpen	80
Anhang H Kostenrechnung für eine Elektro-Wärmepumpe	84
Anhang I Beispiel Anlagenbuch F-Gase-Verordnung	86
Anhang J Zapfprofile	87
Anhang K Berechnungsbeispiel zur Auswahl der Wärmepumpe und Dimensionierung der Bauteile	90
Anhang L Checklisten für Inbetriebnahme/Reglereinstellungen, Fehlersuche, Sicherheitsüberprüfungen und Wartungs-/Inspektionsarbeiten	94
Schrifttum	99

Performanceüberwachung

- sehr wichtiger Schritt, dies in das GEG aufzunehmen

aber

- Inkonsistente Bilanzgrenzen Planung / Messung
- Konzept für die Qualitätssicherung und Kommunikation fehlt: Nutzer, Fachhandwerker, Hersteller
- Nur für Wärmepumpenheizanlagen vorgesehen – ist aber generelles Thema aller Wärmeversorgungsanlagen

Fazit

- Wärmepumpen werden im stromgeführten Wärmesektor der Zukunft eine wichtige Rolle spielen
- Die Anforderungen an die JAZ für Luft/Luftwärmepumpen sind sehr anspruchsvoll
- Einführung einer Performanceüberwachung ist zielführend, sollte aber
 - die ganze Verantwortungskette (Handwerk und Hersteller) und
 - alle Wärmeerzeugungsanlagen umfassen
 - Der geordneten Inbetriebnahme und Fehlererkennung dienen

Vielen Dank

Kontakt:

sebastian.herkel@ise.fraunhofer.de