

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG .....1

1.1 ENTWICKLUNG DES ENERGIEEFFIZIENTEN BAUENS ..... 1

1.2 MOTIVATION ..... 2

1.3 ZIELE DER ARBEIT .....4

1.4 HERANGEHENSWEISE ..... 5

1.5 AUFBAU DER ARBEIT..... 9

2 AKTUELLE GEBÄUDESTANDARDS .....10

2.1 NIEDRIGSTENERGIEHAUS UND NULLENERGIEHAUS ..... 10

2.2 PLUSENERGIEHAUS® ..... 10

2.3 EFFIZIENZHAUS PLUS ..... 11

2.4 ENERGIEPLUS-STANDARD ..... 11

2.5 AKTIVHAUS ..... 12

2.6 EUROPÄISCHE STANDARDS ..... 13

3 DEFINITION VON ENERGIE⊕ .....14

3.1 VORAUSSETZUNGEN FÜR ENERGIE⊕ ..... 14

3.1.1 Nutzungsarten ..... 14

3.1.2 Objekttypen..... 15

3.1.3 Konzeptgrößen ..... 15

3.1.4 Baualtersklassen..... 16

3.1.5 Energetische Qualität der Gebäudehülle ..... 16

3.1.6 Energetische Eigenversorgung ..... 17

3.1.7 Energieträger ..... 17

3.1.8 Eingespeiste Energieüberschüsse ..... 19

3.1.9 Energetische und CO<sub>2</sub>-Ziele ..... 21

3.2 BERÜCKSICHTIGTE ENERGIEN FÜR DEN GEBÄUDEBETRIEB ..... 23

3.2.1 Nach Energieeinsparverordnung (EnEV) ..... 23

3.2.2 Haushalts- und Allgemeinstrom ..... 27

3.2.3 Beleuchtung..... 28

3.2.4 Kälteanwendungen ..... 28

3.2.5 Gesamtübersicht Gebäudebetrieb..... 29

3.3 GRAUE ENERGIE UND ELEKTRO-MOBILITÄT..... 30

3.3.1 Graue Energie ..... 30

3.3.2 Elektro-Mobilität ..... 31

3.3.3 Sonstige ..... 31

3.4 AKTUELLE GEBÄUDESTANDARDS UNTER ENERGIE⊕-GESICHTSPUNKTEN ..... 32

4 PLANUNG UND BETRIEB VON ENERGIE⊕-VERSORGUNGSKONZEPTEN..34

4.1 ZU BERÜCKSICHTIGENDE EINFLUSSFAKTOREN ..... 34

4.1.1 Standort..... 34

4.1.2 Gebäude ..... 36

4.1.3 Nutzerverhalten ..... 38

<b>4.2</b>	<b>ENERGIEERZEUGUNG .....</b>	<b>42</b>
4.2.1	Thermische Energieerzeugung .....	42
4.2.2	Elektrische Energieerzeugung .....	45
4.2.3	Gekoppelte Energieerzeugung .....	46
<b>4.3</b>	<b>ENERGIEVERTEILUNG .....</b>	<b>48</b>
4.3.1	Wärmeverteilung Heizung .....	48
4.3.2	Wärmeverteilung Trinkwarmwasser .....	48
4.3.3	Gekoppelte Wärmeverteilung .....	50
<b>4.4</b>	<b>ENERGIESPEICHERUNG .....</b>	<b>51</b>
4.4.1	Thermische Energiespeicherung .....	51
4.4.2	Elektrische Energiespeicherung .....	54
<b>4.5</b>	<b>HILFSENERGIEN .....</b>	<b>56</b>
<b>4.6</b>	<b>ENERGETISCHE BETRIEBSOPTIMIERUNG .....</b>	<b>57</b>
4.6.1	Energetische Optimierungsmaßnahmen .....	57
4.6.2	Messtechnische Erfassung .....	58
4.6.3	Datennutzung .....	60
4.6.4	Einsparpotential durch Betriebsoptimierung .....	61
<b>4.7</b>	<b>GESAMTÜBERSICHT ENERGIEBEREITSTELLUNG .....</b>	<b>62</b>
<b>5</b>	<b>ENERGIESTRÖME IN ENERGIE<sup>+</sup>-VERSORGUNGSKONZEPTEN .....</b>	<b>64</b>
<b>5.1</b>	<b>MÖGLICHKEITEN DER BEDARFSDECKUNG .....</b>	<b>64</b>
5.1.1	Vollständiger Energiebezug .....	64
5.1.2	Vorrangige Eigendeckung mit Energiebezug .....	64
5.1.3	Vollständige Eigendeckung .....	66
<b>5.2</b>	<b>NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR EIGENERZEUGTE ENERGIE .....</b>	<b>67</b>
5.2.1	Vollständige Einspeisung .....	67
5.2.2	Vorrangige Eigennutzung mit Überschusseinspeisung .....	67
5.2.3	Vollständige Eigennutzung .....	68
<b>5.3</b>	<b>ENERGIEBEZUG .....</b>	<b>69</b>
<b>5.4</b>	<b>ENERGIEABGABE .....</b>	<b>69</b>
<b>5.5</b>	<b>ZUSAMMENHANG DER ENERGIESTRÖME .....</b>	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>NUTZERVERHALTEN .....</b>	<b>72</b>
<b>6.1</b>	<b>NUTZERVERSTÄNDNIS .....</b>	<b>72</b>
6.1.1	Entscheidungskriterien für energieeffiziente Gebäude .....	74
6.1.2	Erwartungen an energieeffiziente Gebäude .....	74
6.1.3	Einstellung der Nutzer zum Thema Energiesparen .....	74
6.1.4	Einsparungsmöglichkeiten aus Sicht der Nutzer .....	77
6.1.5	Erkenntnisse für Energie <sup>+</sup> -Konzepte .....	78
<b>6.2</b>	<b>NUTZEREINFLUSS .....</b>	<b>79</b>
6.2.1	Abweichung von Nutzenergieverbräuchen .....	79
6.2.2	Statistische Analyse des Nutzerverhaltens .....	82
6.2.3	Richtwerte für die Planung .....	88

<b>6.3</b>	<b>NUTZERSENSIBILISIERUNG .....</b>	<b>90</b>
6.3.1	Sensibilisierungswerkzeuge.....	90
6.3.2	Anforderungen an eine Verbrauchsvisualisierung.....	92
6.3.3	Ermittlung von Vergleichswerten.....	93
6.3.4	Benötigte Infrastruktur für eine Verbrauchsvisualisierung .....	94
6.3.5	Visuelle Darstellung von Energieverbräuchen .....	94
6.3.6	Einsparpotentiale durch Nutzersensibilisierung .....	96
<b>7</b>	<b>BILANZIERUNG UND BEWERTUNG VON ENERGIE<sup>⊕</sup>-OBJEKTEN .....</b>	<b>98</b>
<b>7.1</b>	<b>RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE BILANZIERUNG .....</b>	<b>98</b>
7.1.1	Systemgrenze .....	98
7.1.2	Betrachtungszeitraum .....	100
7.1.3	Energieform.....	101
<b>7.2</b>	<b>BENÖTIGTE INFORMATIONEN .....</b>	<b>102</b>
7.2.1	Allgemeine Projektdaten.....	102
7.2.2	Ermittlung der Energieströme in der Planung .....	103
7.2.3	Ermittlung der Energieströme in Nutzung und Betrieb .....	104
<b>7.3</b>	<b>ENERGIE<sup>⊕</sup>-EFFIZIENZKLASSEN .....</b>	<b>105</b>
7.3.1	Energie <sup>⊕</sup> -Effizienzklassen A-H.....	105
7.3.2	Energie <sup>⊕</sup> -Effizienzkategorie A <sup>+</sup> .....	108
7.3.3	Energie <sup>⊕</sup> -Effizienzkategorie A <sup>++</sup> .....	108
7.3.4	Sonstige Energie <sup>⊕</sup> -Effizienzklassen .....	109
7.3.5	Übersicht .....	110
<b>7.4</b>	<b>BILANZIERUNG UND BEWERTUNG GEBÄUDEBETRIEB.....</b>	<b>112</b>
7.4.1	Berücksichtigte Energieströme .....	112
7.4.2	Datenblatt und Gesamtübersicht.....	112
<b>7.5</b>	<b>BILANZIERUNG UND BEWERTUNG GESAMTSYSTEM .....</b>	<b>115</b>
7.5.1	Berücksichtigte Energieströme.....	115
7.5.2	Effizienzhaus <sup>⊕</sup> .....	116
7.5.3	Elektrischer Eigendeckungsgrad.....	116
7.5.4	Elektrischer Eigennutzungsgrad .....	118
7.5.5	Graue Energie .....	118
7.5.6	Weitere Bilanzierungsmöglichkeiten .....	119
7.5.7	Datenblatt und Gesamtübersicht.....	120
<b>7.6</b>	<b>VERGLEICH VON UMSETZUNGSVARIANTEN.....</b>	<b>122</b>
7.6.1	Betrachtete Größen.....	122
7.6.2	Effizienzklassen-Diagramm .....	123
7.6.3	Datenblatt und Gesamtübersicht.....	124
<b>8</b>	<b>SCHLUSSBEMERKUNGEN .....</b>	<b>126</b>
<b>8.1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>126</b>
<b>8.2</b>	<b>AUSBlick UND WEITERE FORSCHUNGSANSÄTZE.....</b>	<b>130</b>

<b>VERZEICHNISSE.....</b>	<b>XIII</b>
<b>V.1 LITERATUR.....</b>	<b>XIII</b>
<b>V.2 ABKÜRZUNGEN.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>V.3 ABBILDUNGEN.....</b>	<b>XIX</b>
<b>V.4 DIAGRAMME .....</b>	<b>XX</b>
<b>V.5 TABELLEN.....</b>	<b>XX</b>
<b>ANHANG .....</b>	<b>XXI</b>
<b>A.1 TABELLARISCHER LEBENSLAUF.....</b>	<b>XXI</b>
<b>A.2 VERZEICHNIS DER WISSENSCHAFTLICHEN VERÖFFENTLICHUNGEN/VORTRÄGE .....</b>	<b>XXII</b>
<b>A.3 SCHRIFTLICHE ERKLÄRUNG ZU DEN SACHVERHALTEN GEMÄß §11 DER PROMOTIONSORDNUNG DER FAKULTÄT ARCHITEKTUR .....</b>	<b>FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.</b>