D.1. Datenmodell 'Deutschland 100%EE' (180616)

	Einheit	STATUS	ZIEL

Szenario-Grunddaten

Zielregion / Szenario — **Deutschland 100%EE**

Regions-Kennung — **D**

Szenario Version — **180616** [14]

Vorlagen:
Szenario Land Niedersachsen für den 2. Runden Tisch Energiewende,
Finale Version vom 26.08.2015. Edition vom 13.01.2016 (150826).
Anpassung an verfeinerte Algorithmen im Sommer 2016 (150826').

Szenario-Realisierung — **Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt - 'Heiner'**

Startszenario für BAGen-Konvent Sektorenkoppelung 16.06.2018, Bündnis90 / Die Grünen

100prosim Softwareversion — **180521**

100prosim -
100-Prozent-Erneuerbare-Energen-Simulationssystem
von Hans-Heinrich Schmidt-Kanefendt

Betrachtungszeitpunkte — Jahr: 2016 [28] — **2050** [30]

- STATUS-Ansatz: Für das Statusmodell wurden in Anlehnung an die genutzte Vorlage überwiegend Daten aus dem Jahr 2016 gewählt, besonders bei den stärkeren Veränderungen unterworfenen Erzeugungs-Daten. Die Verbrauchsdaten beziehen sich dagegen auf das Jahr 2012. Wegen der vergleichsweise niedrigen Veränderungsrate erscheinen die daraus resultierenden Inkonsistenzen für diese Abschätzung vertretbar und wurden in Kauf genommen.

- ZIEL-Ansatz: Es wird die Situation im Jahr 2050 betrachtet, für das der erfolgte Übergang zu einer vollständig auf regenerativen Quellen basierenden, auf lange Sicht aufrecht zu erhaltenden Energieversorgung angenommen wird.

Regions-Grunddaten

Energieverbrauch ermittelt gemäß: — **Verursacher-Prinzip**

Beim Verursacher-Prinzip wird der von der Bevölkerung direkt und indirekt im Land verursachte Energieverbrauch angesetzt, errechnet aus dem Deutschen Pro-Kopf-Verbrauch und der Bevölkerungszahl. Im Fall eines Szenarios für ganz Deutschland stimmt dieser mit dem tatsächlichen Energieverbrauch nach demTerritorial-Prinzip überein. Auf diese Weise ergibt das deutsche Verbrauchsniveau als Voraussetzung für den erreichten Lebensstandard einen stabilen Maßstab für die Bewertung der Ziel-Situation. (Das Solidar-Prinzip [50] ist zur angemessenen Abbildung von Teilregionen bestimmt, im Fall von Deutschland insgesamt aber irrelevant).

Energieverbraucher (nach Verursacher-Prinzip) — % — 82.175.684 [43] — **82.175.684** [45]

Einwohner
=Energieverbraucher nach Verursacher-Prinzip — % — 82.175.684 [43] — **82.175.684** [45]

Beim Verursacher-Prinzip wird der von der Bevölkerung direkt und indirekt im Land verursachte Energieverbrauch angesetzt, errechnet aus dem Deutschen Pro-Kopf-Verbrauch und der Bevölkerungszahl. Im Fall eines Szenarios für ganz Deutschland stimmt dieser mit dem tatsächlichen Energieverbrauch nach demTerritorial-Prinzip überein. Auf diese Weise ergibt das deutsche Verbrauchsniveau als Voraussetzung für den erreichten Lebensstandard einen stabilen Maßstab für die Bewertung der Ziel-Situation. (Das Solidar-Prinzip [50] ist zur angemessenen Abbildung von Teilregionen bestimmt, im Fall von Deutschland insgesamt aber irrelevant).

- STATUS-Ansatz: GENESIS [9.214], Tabelle 12411-01-01-4, Einwohner gesamt am 31.12.2015:. (Zum Vergleich: 80523746 am 31.12.2012:)

- ZIEL-Ansatz: Abweichend von den Schätzungen für die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland [62] wird hier vom Statusniveau ausgegangen. Danach wäre bis 2050 mit einer Veränderung von -3,9 % zu rechnen. Dies würde sich zwar als Entlastung beim verursachten Energieverbrauch auswirken. Allerdings birgt das starke globale Bevölkerungswachstum von prognostizierten 38,0 % [47] erhebliche Unsicherheiten, weil der daraus resultierende Migrationsdruck schwer einschätzbar ist. Aus diesem Grund wird hier von einer gegenüber heute gleichbleibenden Bevölkerungszahl ausgegangen.

Gemäß Prognose der UN [9.234] wird eine Zunahme der Weltbevölkerung von 6,9 Milliarden (2010) auf 9,6 Milliarden geschätzt, entsprechend einem Zuwachs von 38,0% .

D.1. Datenmodell 'Deutschland 100%EE' (180616)	Einheit	STATUS	ZIEL

58 **Einwohner Deutschlands (Referenz)** % 82.175.684 [59] **82.175.684** [61] 58

59 - STATUS-Ansatz: GENESIS [9.214], Tabelle 12411-01-01-4, Einwohner gesamt am 31.12.2015:. (Zum Vergleich: 80.523.746 am 31.12.2012:) 59

61 - ZIEL-Ansatz: Abweichend von den Schätzungen für die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland [62] wird hier vom Statusniveau ausgegangen. Danach wäre bis 2050 mit einer Veränderung von -3,9 % zu rechnen. Dies würde sich zwar als Entlastung beim verursachten Energieverbrauch auswirken. Allerdings birgt das starke globale Bevölkerungswachstum von prognostizierten 38,0 % [47] erhebliche Unsicherheiten, weil der daraus resultierende Migrationsdruck schwer einschätzbar ist. Aus diesem Grund wird hier von einer gegenüber heute gleichbleibenden Bevölkerungszahl ausgegangen. 61

62 Für Deutschland 2050 werden gemäß Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes [9.223] eine Bevölkerungszahl von 79,0 Millionen geschätzt. Das entspricht einer Bevölkerungsentwicklung gegenüber dem Jahr 2015 (82,2 Millionen) von -3,9% . 62

64 **Bodenfläche gesamt** ha 35.757.963 [65] **35.757.963** [67] 64

65 - STATUS-Ansatz: Gemäß GENESIS [9.214], Tabelle 33111-01-02-4, am 31.12.2016. (35.716.858 am 31.12.2012). 65

67 - ZIEL-Ansatz: Die Bodenfläche der Region bildet einen zentralen Bezugsrahmen, aus methodischen Gründen ist die Ziel-Fläche identisch mit der Status-Fläche. 67

69 **Siedlung (Gebäude- & Freifläche)** ha 3.277.007 [70] **3.804.484** [72] 69

70 - STATUS-Ansatz: Gemäß GENESIS [9.214], Tabelle 33111-01-02-4, am 31.12.2016. (2.486.929 am 31.12.2012 vor der Umstellung auf das Amtliche Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS)). 70

72 - ZIEL-Ansatz: Da der Flächenverbrauch für Siedlungszwecke vor allem zu Lasten der landwirtschaftlichen Flächen geht, kommt der Reduzierung des Flächenverbrauchs große Bedeutung zu (s. [9.178] S. 3. Der getroffene Ansatz für die Flächenzunahme resultiert daher aus der Übertragung einer optimistischen Annahme für Niedersachsen gemäß [73] auf Deutschland, von der die bisherige Praxis noch weit entfernt ist. 72

73 Um 56.575 ha entsprechend 16% würden die Gebäude- und Freiflächen Niedersachsens bis zum Jahr 2050 wachsen unter der Annahme, dass der Flächenverbrauch gemäß der Projektion der Nds. Kommission Flächenverbrauch und Bodenschutz [9.178], Abb. 2, S. 5 von 10 ha pro Tag 2010 zunächst bis 2020 auf 3 ha/d zurückgeführt und dann auf diesem Wert gehalten werden könnte. 73

75 **Landwirtschaftsfläche (LF)** ha 18.263.736 [76] **17.736.259** [78] 75

76 - STATUS-Ansatz: Gemäß GENESIS [9.214], Tabelle 33111-01-02-4, am 31.12.2016. (18.498.220 am 31.12.2012 vor der Umstellung auf das Amtliche Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS)). 76

78 - ZIEL-Ansatz: Der Flächenverbrauch für Siedlungszwecke (Verkehr wird hier mit eingeschlossen) von 527.477 ha gemäß [73] geht zu Lasten der Landwirtschaftsfläche, die sich entsprechend verringert. Eine weitere Ausweitung der Waldflächen [100] zu Lasten der Landwirtschaftsflächen entsprechend dem Trend der zurückliegenden Zeit wird hier nicht angenommen. 78

80 **Ackerland** ha 11.764.145 [81] **10.826.000** [83] 80

81 - STATUS-Ansatz: Ackerland gemäß GENESIS [9.214], Tabelle 33111-01-02-3, in 2016 (11.846.665 ha in 2010); zuzüglich 1.143 ha Waldflächen und Kurzumtriebsplantagen auf Ackerland in 2017 gemäß [9.217] Tab. DE0103. 81

83 - ZIEL-Ansatz: 10.826.000 ha resultieren aus der Annahme, dass die Abnahme der Landwirtschaftsfläche um 527.477 ha [75] voll zu Lasten der Ackerfläche geht (siehe dazu Dauergrünland [93]) und dass 218.149 ha belegt sind mit der Hälfte der Freiflächen-Solaranlagen [129]. Dabei werden die Rahmenbedingungen der Landwirtschaft als bestenfalls konstant angenommen [371]. 83

85 **Getreide-Anbaufl. (Stroh)** ha 6.325.023 [86] **6.325.000** [88] 85

86 - STATUS-Ansatz: Gemäß GENESIS [9.214], Tabelle 33111-01-02-4, in 2016. (6.595.447 ha in 2010). 86

88 - ZIEL-Ansatz: Da die Einflüsse auf die künftige Entwicklung der Getreideanbaufläche vielfältig, komplex und schwer einschätzbar sind (siehe [371]), ist der Ansatz am obigen Statuswert orientiert. 88

90 **Dauergrünland** ha 4.715.000 [91] **4.496.851** [93] 90

91 - STATUS-Ansatz: Gemäß DESTATIS [9.217], Tabelle DE0103, in 2017. 91

93 - ZIEL-Ansatz: 4.496.851 ha resultieren aus der Annahme einer gleichbleibenden Dauergrünlandfläche [94], wovon allerdings 218.149 ha belegt sind mit der Hälfte des Zuwachses an Freiflächen-Solaranlagen [129]. Wenn organische Böden dafür vorgesehen werden, bietet sich diese Fläche an zur Wiedervernässung als Beitrag zum Klimaschutz.

94 Ausgehend vom Jahr 1990 ist in Niedersachsen eine stetige Abnahme der Dauergrünlandnutzung von anfänglich 910.000 ha [9.138], Tab. AC1002.x auf 691.600 ha [9.99] zu verzeichnen. Der mit der Umwandlung ehemaliger Moorflächen in Ackerland verbundene Anstieg der Treibhausgas-Emmissionen wird aus Klimaschutz-Gründen als nicht fortsetzbar angesehen, hier wird für Deutschland von einer gleichbleibenden Fläche ausgegangen. Es könnte sich allerdings zeigen, dass für den Klimaschutz eine Ausweitung und Wiedervernässung organischer Böden unumgänglich ist.

96 **Waldfläche** ha 10.617.013 [97] **10.617.013** [100]

97 *- STATUS-Ansatz: Gemäß GENESIS [9.214], Tabelle 33111-01-02-4, am 31.12.2016. (10.890.859 am 31.12.2012 vor der Umstellung auf das Amtliche Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS)).*

100 - ZIEL-Ansatz: Fortschreibung des Status Quo in Überinstimmung mit THGND [101]. Die Bedeutung der Wälder für den Naturhaushalt und teilweise stark eingeschränkte anderweitige Nutzbarkeit sprechen gegen eine Verringerung der Waldflächen.

101 "Treibhausgasneutrales Deutschland 2050" [9.231], S. 305: "Die Aufforstung neuer Flächen konkurriert um anderweitige Flächennutzungsformen (…) Angesichts einer Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzfläche bis 2050 um fast 1,5 Mio ha (Deutschland) wird davon ausgegangen, dass keine weiteren Flächen zur Aufforstung zur Verfügung stehen."

109 **Potenzial forstwirtschaftlich nutzbarer Waldfläche** ha 10.581.468 [110] **9.555.000** [113]

110 - STATUS-Ansatz: Resultiert aus der gesamten Waldfläche [96] abzüglich der bereits bestehenden Naturwälder [111].

111 Naturwaldreservate steht als Sammelbegriff für Wälder, die ihrer natürlichen Entwicklung ohne direkte menschliche Eingriffe und damit ohne forstwirtschaftliche Nutzung überlassen werden und sich so zu Urwäldern von morgen entwickeln sollen. In der Datenbank Naturwaldreservate ist für Deutschland (Stand 2018) eine Gesamtfläche von 35.545 ha angegeben [9.51], das entspricht 0,33% der Waldfläche. Wegen vielfacher Überschneidungen mit Nationalparkflächen und Biosphärenreservaten [9.146, S. 14] kann dieser Wert als genügend aussagekräftig angesehen werden.

113 *- ZIEL-Ansatz: Orientiert an der Zielsetzung des Niedersächsischen Landwirtschaftsministeriums für das Jahr 2020 [116], wonach 10,0 % der Landeseigenen Waldfläche aus der forstwirtschaftlichen Nutzung genommen sein sollen. Damit bleiben 9.555.000 ha Wirtschaftswaldfläche. Gemessen an der Zielsetzung der Bundesregierung [115] ist das auch langfristig gesehen noch ein anspruchsvolles Ziel.*

115 Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt der Bundesregierung von 2007 [9.60], S. 28, 31: "Bis zum Jahre 2020 kann sich die Natur auf 2 % der Fläche Deutschlands wieder nach ihren eigenen Gesetzmäßigkeiten ungestört entwickeln und Wildnis entstehen (…) 2020 beträgt der Flächenanteil der Wälder mit natürlicher Waldentwicklung 5 % der Waldfläche."

116 Niedersächsisches Landwirtschaftsministerium 2013 [9.161] : "'Unsere Landesforsten haben mit dem Nationalpark Harz und vielen weiteren FFH-Gebieten schon einen hohen Anteil an Naturwaldflächen', sagte Meyer. Er sei deshalb sicher, 'dass wir die Vorgaben für die niedersächsischen Landesforsten mit zehn Prozent bis 2020 fachlich versiert auf jeden Fall erreichen werden'."

118 **Solarenergie**

120 **Solare Absorberfläche auf Dächern** ha 21.408 [121] **266.654** [126]

121 - STATUS-Ansatz: Die solare Absorberfläche auf Dächern von 21.408 ha resultiert aus der Summe von solarthermischen Flach- und Röhrenkollektoren zur Wärmegewinnung gemäß [122] und Photovoltaikmodulen zur Stromgewinnung gemäß [123].

122 Die solarthermischen Flach- und Röhrenkollektoren zur Wärmegewinnung belegten eine Fläche von 1912,2 ha gemäß [139]. Sie werden hier komplett den Dachflächen zugerechnet, da sie zur Vermeidung von Verlusten beim Wärmetransport meist verbrauchsnah auf Gebäuden installiert sind.

123 Insgesamt waren 2015 gemäß AEE [9.16] , Zeile 70, in Deutschland 39.787 MWp PV installiert ('2012: 33.033 MWp), etwa 70% davon als Dachanlagen [124]. Mit einer Flächenleistung von 7 m2/kWp [155] resultiert daraus eine PV-Modulfläche auf Dächern von 19.496 ha.

124 Etwa 70 % der in Deutschland installierten Photovoltaik-Leistung entfallen auf Dachanlagen, dies ergibt eine Schätzung auf Basis der Zubauzahlen von 2010 bis 2014 gemäß einer Marktanalyse des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie [9.72].

126 - ZIEL-Ansatz: 266.654 ha solare Absorberfläche auf Dächern. Damit wird rechnerisch 75,0 % des Potenzials an geeigneten Dachflächen (Ausrichtung, keine Verschattung) in Deutschland genutzt, das mit Übertragung der Solardachkataster-Ergebnisse vom Landkreis Osnabrück auf Deutschland abgeschätzt wurde [127]. 126

127 Im Landkreis Osnabrück sind gemäß Solardachkataster [9.149] von sämtlchen Dachflächen 47 % solar geeignet (12 % sehr gut, 12 % gut, 23 % bedingt nach heutigen wirtschaftlichen Maßstäben), das sind 1.589 ha. Bezogen auf die 16.999 ha Gebäude- und Freiflächen im Landkreis sind das 9,3 % solar geeignete Dachflächen. Diese Kennzahl in Ermangelung eines flächendeckenden Solarkatasters auf Deutschland mit 3.804.484 ha Gebäude- und Freiflächen übertragen, ergibt ein solar geeignetes Dachflächenpotenzial von 355.539 ha. 127

129 **Solar genutzte Freiflächen** ha 20.888 [130] **436.298** [133] 129

130 - STATUS-Ansatz: Solare Freiflächenanlagen dienen nahezu vollständig der Stromgewinnung mit Photovoltaikmodulen, da Solarthermie gewöhnlich verbrauchsnah auf Dachflächen erfolgt, vgl. [122]. Von der gesamten installierten PV-Leistung mit 39.787 MWp [123] sind 30% entsprechend 11.936 MWp nicht auf Dächern [123], sondern auf Freiflächen installiert. Eine Modulfläche von 8.355 ha ergibt sich bei einem durchschnittlichen Modulflächenbedarf von 7 m2/kWp [155]. 39787 ha PV-Modulfläche entfallen somit auf Freiflächenanlagen. Zur Vermeidung gegenseitiger Abschattung sind Abstandsflächen erforderlich. Die Größe der beanspruchten Freiflächen liegt im Fall der heute üblichen Südausrichtung gemäß [131] beim 2,5-fachen der aufgestellten Modulfläche, das sind in diesem Fall 20.888 ha. 130

131 "…im Freiland werden Module aufgeständert, um ihren Ertrag zu erhöhen. Bei Südausrichtung und entsprechender Beabstandung belegen sie ungefähr das 2,5-fache ihrer eigenen Fläche." [9.246], Seite 23. Dieser für durchschnittliche deutsche Verhältnisse angegebene Wert wurde hier zugrunde gelegt. 131

133 *- ZIEL-Ansatz: (Bei Abweichungen gilt Abgleichergebnis in _S.xlsx) Als Beitrag zur Deckung des Strombedarfs sind 436.298 ha PV-Freiflächenanlagen vorgesehen (gemäß [131] unter Beibehaltung der heutigen Südausrichtung entspricht das einer PV-Modulfläche von 174.519 ha; bei Aufstellung in Ost-/West-Ausrichtung mit 10° Neigung läge der spezifische Flächenbedarf um den Faktor von ca. 2,5 niedriger [135], allerdings wäre wegen der stärkeren Konzentration auf hohen Sonnenstand der Bedarf an Langzeit-Stromspeicherkapazität erheblich größer, dies ist im aktuellen Softwarestand nicht modellierbar).* 133

134 *Die Flächenbeanspruchung der PV-Freiflächenanlagen entspricht 2,5 % der Landwirtschaftsfläche [75]. Hier wird angenommen, dass die Hälfte davon auf Konversionsflächen und Dauergrünland [93] installiert ist. Auf diese Weise bleibt die Beanspruchung wertvollen Ackerlandes [83] auf die andere Hälfte beschränkt. Ein somit relativ geringer Anteil von Flächen-Umnutzung erscheint einerseits wegen eines vielfachen Energieertrages gegenüber Bioenergie sinnvoll und andererseits unkritisch, wenn er durch entsprechend eingeschränkte NAWARO-Anbauflächen für Bioenergie [368] ausgeglichen wird. PV auf Ackerland bringt mit 736 MWh/ha/a [161] den 18-fachen Energieertrag gegenüber Biogas mit 41,3 MWh/ha/a [373]* 134

135 *Hinweis in einer Stellungnahme vom Institut für Solarforschung Hameln: "Für eine flächenoptimierte Energieerzeugung sollte ein flacher (z. B. 10°) Anstellwinkel und eine Ost-West-Richtung ausgewählt werden. Dies reduziert den Ertrag pro Solarmodul auf ca. 85 % (LK OS 2012). Der Flächenertrag steigt dadurch aber um einen Faktor 2,6 im Vergleich zur Südausrichtung, da die Solarmodule in geringerem Abstand zueinander montiert werden können." (Der Faktor von 2,6 bezieht sich auf die Strahlungsverhältnisse in Niedersachsen, die bei Südausrichtung das 3,3-fache der Modulfläche erfordern. Auf deutsche Strahlungsverhältnisse übertragen handelt es sich um einen Faktor von 2,0).* 135

137 **Solarthermie - Nutzanteil an Dach-Absorberflächen** % 8,9 [138] **0,7** [141] 137

138 - STATUS-Ansatz: Fläche der solarthermischen Flach- und Röhrenkollektoren von 1912,2 ha gemäß [139] relativ zu 21.408 ha solar genutzten Dachflächen gemäß [120]. 138

139 Gemäß AEE [9.16] Zeile 350 waren 2016 in Deutschland 19.122.000 qm Solarthermie-Kollektorfläche installiert. 139

141 - ZIEL-Ansatz: Mit 1912 ha Solarthermie-Fläche entsprechend 0,7% der gesamten Solardachfläche [126] wurde auf einen weiteren Ausbau verzichtet, da die Technologie in der warmen Jahreszeit redundant zur Kombination Photovoltaik/Wärmepumpe ist, die für die kalte Jahreszeit als Kombination Windenergie/Wärmepumpe ohnehin erforderlich ist und geringere Bereitstellungsverluste aufweist. 141

143 **Solarthermie - Energieertrag (Kollektorfläche)** MWh/ha/a 4.079 [144] **5.250** [146] 143

144 - STATUS-Ansatz: Gemäß AEE [9.16] Zeile 332 lag die Wärmeerzeugung aus Solarthermie 2016 in Deutschland bei 7800 GWh/a. In Bezug zur installierten Kollektorfläche [139] resultiert ein Energieertrag von 4.079 MWh/ha/a. 144

146 *- ZIEL-Ansatz: Gemäß ISFH-Stellungnahme [9.175] ist bis zum Jahr 2050 eine Steigerung der Energieerträge aus Solarthermie auf 500 bis 550 kWh/m2/a zu erwarten. Daran orientiert wurde hier der Mittelwert der angegebenen Spanne angesetzt.* 146

148 **Photovoltaik - Nutzanteil an Dach-Absorberflächen** % 91,1 [149] **99,3** [151] 148

149 - STATUS-Ansatz: Die nicht durch Solarthermie beanspruchten solaren Dachflächen werden mit Photovoltaik genutzt. Gesamt-Absorberfläche (= 100%) abzüglich Solarthermie-Nutzanteil gemäß [137].

151 - ZIEL-Ansatz: Die nicht durch Solarthermie beanspruchten solaren Dachflächen werden mit Photovoltaik genutzt. Gesamt-Absorberfläche (= 100%) abzüglich Solarthermie-Nutzanteil gemäß [137].

153 **Photovoltaik - Energieertrag (Modulfläche)** MWh/ha/a 1.314 [154] **1.840** [158]

154 - STATUS-Ansatz: Aus der mittleren jährlichen Ausnutzungsdauer gemäß [167] und einem angenommenen spezifischen Flächenbedarf gemäß [155], plausibilisiert mit [156], ergibt sich für die heutigen PV-Dachanlagen ein durchschnittlicher Energieertrag von 1.314 MWh/ha/a.

155 "In Deutschland werden (…) spezifische Erträge um 900 kWh/kWp erzielt. Pro Quadratmeter Modulen entspricht dies ca. 130 kWh, bei Spitzenmodulen ca. 180 kWh. " [9.246], Seite 23 (2012).
Aus dem Wert für die Standardmodule resultiert ein spezifischer Flächenbedarf von gerundet 7,0 qm/kWp, der hier als Durchschnitt für den Anlagenbestand zugrunde gelegt wird.

156 "Pro 1 kWp elektrischer Leistung wird eine Fläche von ca. 7 m² benötigt." [9.90].

158 - ZIEL-Ansatz: Mit einem durch technische Innovation verringerten spezifischen Flächenbedarf von 5 qm/kWp gemäß [159] und einer jährlichen Ausnutzungsdauer von 920 KWh/kWp gemäß [169] ergibt sich ein Energieertrag von 1.840 MWh/ha/a.

159 "In Deutschland werden (…) spezifische Erträge um 900 kWh/kWp erzielt. Pro Quadratmeter Modulen entspricht dies ca. 130 kWh, bei Spitzenmodulen ca. 180 kWh. " [9.246], Seite 23 (2012).
Daraus resultiert für Spitzenmodule ein spezifischer Flächenbedarf von rund 5,0 qm/kWp, der hier als ein durch technische Innovation erreichbar erscheinender Durchschnittswert für einen künftigen Anlagenpark zugrunde gelegt wird.

161 **Photovoltaik - Energieertrag (Freifläche)** MWh/ha/a 526 [162] **736** [164]

162 - STATUS-Ansatz: Aus dem auf PV-Module bezogenen Energieertrag (1.314 MWh/ha/a gemäß [154]) und dem erhöhten Flächenbedarf für unverschattete Modulaufstellung (2,5-faches der Modulfläche gemäß [131]) resultiert für PV-Freiflächen ein durchschnittlicher Energieertrag von 526 MWh/ha/a.

164 - ZIEL-Ansatz: Aus dem auf PV-Module bezogenen Energieertrag (1.840 MWh/ha/a gemäß [158]) und dem erhöhten Flächenbedarf für unverschattete Modulaufstellung (2,5-faches der Modulfläche gemäß [131]) resultiert für PV-Freiflächen ein durchschnittlicher Energieertrag von 736 MWh/ha/a.

166 **Photovoltaik - Vollbetriebsstunden jährlich** h/a 920 [167] **920** [169]

167 - STATUS-Ansatz: Gemäß AEE [9.16], Zeile 115, lag die mittlere jährliche Ausnutzungsdauer (Vollbetriebsstunden) von Photovoltaik in Deutschland 2012 bis 2015 bei 920 kWh/kWp (Einzelwerte: 934, 867 926, 952, [167]).

169 - ZIEL-Ansatz: Unter der Annahme eines gleichbleibenden Modul-Ausrichtungspektrums und dass Klimaveränderungen ohne Einfluss auf die Strahlungsverhältnisse bleiben, wird für Niedersachsen von einer jährlichen Ausnutzungsdauer (Vollbetriebsstunden) wie in den vergangenen Jahren von 920 KWh/kWp [167] ausgegangen.

171 **Windenergie Onshore**

173 **Windenergie Flächenpotenzial** ha 2.900.000 [174] **2.320.000** [179]

174 - STATUS-Ansatz: Gemäß einer Studie von BWE/IWES [9.78], S. 22, verfügt Niedersachsen über eine für die Aufstellung von Windenergieanlagen ohne Restriktionen nutzbare Fläche [175] von 29.000 qkm, die hier als technisches Flächenpotenzial übernommen wird. Die Studien-Ergebnisse sind mit Unsicherheiten behaftet (siehe Seite 46), erscheinen zurzeit jedoch als die am besten geeignete Grundlage.

175 "Nutzbare Flächen ohne Restriktionen sind die als nutzbar berechneten Flächen [176], die außerhalb von Wald- und Schutzgebieten liegen. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um verschiedene Formen landwirtschaftlicher Flächen (…) sowie Wiesen und Weiden, Heiden und Grünland." [9.78] S. 12.

176 "Im Rahmen der Studie werden Ausschlussflächen definiert, die für Windenergie nicht nutzbar sind. Hierzu gehören u. a. bebaute Flächen, Gewässer, Gletscher, und Dauerschneegebiete oder in Gezeitenzonen liegende Flächen. Darüber hinaus werden auch Flächen ausgeschlossen, auf denen Straßen, Schienen oder Hochspannungsleitungen verlaufen." [9.78] S. 13.

177 "Neben diesem direkten Ausschluss (s. oben) gibt es einen Ausschluss durch Puffer. So werden z. B. einzuhaltende Abstände von Windenergieanlagen zu Siedlungen (1.000 m), Straßen (100 m) oder größeren schiffbaren Flüssen (300 m) angenommen. (...) In der Studie werden die nicht nutzbaren Schutzgebiete noch mit einem Abstand von 200 m gepuffert." [9.78] S. 13, 15.

179 - ZIEL-Ansatz: Die Potenzialermittlung für die zur Aufstellung von Windenergieanlagen ohne Restriktionen nutzbaren Flächen auf Grundlage der Studie von BWE/IWES aufgrund heutiger räumlicher Gegebenheiten (siehe Status-Ansatz [174]) wird übernommen, allerdings mit einem pauschal angesetzten Abschlag von 20% zur Berücksichtigung nicht ausreichend einschätzbarer Veränderungen der räumlichen Gegebenheiten (Ausweitung der besiedelten Bereiche, Verkehswege, Schutzgebiete usw.). Daraus resultiert ein Flächenpotenzial von 2.320.000 ha für Deutschland. Eine Sensitivitätsanalyse zeigt die gravierende Bedeutung der Abstandsvorgaben: Die Erhöhung des Puffers um 50% würde die Potenzialfläche auf ein Drittel reduzieren [180].

180 "Insgesamt hat die Pufferung (Abstandsvorgaben zu Siedlungen, Verkehrswegen, Schutzgebieten usw.) einen entscheidenden Einfluss auf die verfügbaren Flächen. (…) Die Reduktion des Puffers um 50 % führt zu einer Erhöhung der Fläche ohne Restriktionen um fast das 2,5-fache (+142%) und eine Erhöhung des Puffers um denselben Wert führt zu einer Reduktion der Fläche auf ein Drittel des Basiswerts." [9.78] S. 13, 15.
Für die Berechnungen wurden Anlagen mit einer Gesamthöhe von 150 m bzw. 208 m in Schwachwindgebieten zugrunde gelegt [9.78, S. 21]. Als Abstandsvorgabe zu Siedlungen, die den größten Einfluss auf die verbleibenden Flächen hat, wurden 1000 m angenommen [9.78 S. 13, 15]. Dies entspricht einer Abstandsvorgabe vom 6,7-fachen der Anlagenhöhe bzw. dem 4,8-fachen in Schwachwindgebieten.
Bei einer um 50% auf 1500 m erhöhten Abstandsvorgabe entspräche das dem 10-fachen bzw. dem 7,2-fachen der Anlagenhöhe. Das zeigt zum Beispiel, dass mit Beibehaltung der 10h-Regelung in Bayern die verbleibende Fläche für Schwachwindanlagen noch weit unter einem Drittel der hier angenommenen Potenzialfläche liegen würde.

188 **Windparkfläche** ha 195.708 [189] **749.354** [192]

189 - STATUS-Ansatz: 195.708 ha Windparkfläche wurden von Onshore-Windenergieanlagen in Deutschland 2015 beansprucht, das resultiert aus einer installierten Leistung von 40.989 MW [190] und einer spezifischen Flächenbeanspruchung von 4,77 ha/MW [199].

190 40.989 MW installierte Onshore-Windenergie-Leistung resultieren als Jahresdurchschnitt für 2015 unter der Annahme eines linear über das Jahr verteilten Zubaus: 41.521 MW betrug Ende 2015 die installierte Leistung der Onshore-Windenergie in Deutschland [9.22] Zeile 79, Ende 2014 waren es 40.457 MW.

192 - ZIEL-Ansatz: 749.354 ha Windparkfläche resultieren aus der Annahme von 2,1 % der Bodenfläche Niedersachsens [64], die als Beitrag der Onshore-Windenergie zur Abdeckung des Strombedarfs gewählt wurden.

197 **Spezifischer Flächenbedarf Onshore-Windenergie** ha/MW 4,77 [198] **3,78** [202]

198 - STATUS-Ansatz: Als Grundlage für die Abschätzung des Windenegie-Flächenbedarfs wird in Ermangelung geeigneter statistischer Daten die spezifische Erntefläche von 4,77 ha/MW gemäß [199] verwendet.

199 4,77 ha/MW spezifische Erntefläche für den Anlagenbestand in Niedersachsen 2016 resutliert aus einer Status-repräsentativen Referenzanlage: 1,7 MW Nennleistung gemäß AEE [9.22] Zeile 164, Rotorflächen-/Nennleistungs-Verhältnis 2,50 qm/kW gemäß [200], 4.250 qm Rotorfläche entsprechend 73,6 m Rotordurchmesser. Mit den üblichen Mindestabständen von 5 Rotordurchmessern in Hauptwindrichtung mal 3 Rotordurchmessern rechtwinklig dazu resultiert für die Referenzanlage eine Erntefläche von 8,12 ha und damit eine spezifische Erntefläche von 4,77 ha/MW.

200 Annahme des durchschnittlichen Rotorfläche-/Nennleistungs-Verhältnis von 2,50 qm/kW für die Status-repräsentative Referenzanlage - in Anlehnung an das nach installierter Leistung gewichtete Mittel der zwischen 1992 und 2013 von ENERCON hergestellten Windenergieanlagen von 2,19 qm/kW (Maximum bei Schwachwindanlagen: 2,67, Minimum bei Starkwindanlagen: 1,72) und der Tendenz seit 2014 zu steigendem Rotorfläche/Nennleistung-Verhältnis an einem konkreten Beispiel von 3,2 qm/kW.

202 - ZIEL-Ansatz: 3,78 ha/MW beträgt gemäß [203] die durchschnittliche Flächenbeanspruchung künftiger Windparks unter Berücksichtigung der räumlichen Verhältnisse in Deutschland bei einer Beanspruchung von 2% der Bodenfläche. Es wird hier angenommen, dass dieser Wert in guter Näherung auch für andere Beanspruchungen in der Nähe dieses Wertes gilt.
Der gegenüber dem Status geringere Wert resultiert aus der Anwendung unterschiedlicher Ermittlungsmethoden: Die Summe der Ernteflächen [199] enthält auch die Flächenanteile, die über die Windparkgrenzen hinausragen, während die GIS-Ermittlung ausschließlich die von Windenergieanlagenstandorten umgrenzte Fläche erfasst.

203 In der Studie [9.78] S. 33 wurde aufgrund von GIS-Analysen mit einem Raster von 100 mal 100 Meter ermittelt, dass bei Beanspruchung von 2 % der Bodenfläche Deutschlands entsprechend 715.159 ha für Windparks eine Nennleistung von 189 GW installierbar ist. Daraus resultiert ein spezifischer Flächenbedarf von 3,78 ha/MW . Als beanspruchte Fläche wurden dabei die von Anlagen belegten Rasterelemente und die zwischen benachbarten Anlagen gelegenen Rasterelemente innerhalb der jeweiligen Windparkfläche gewertet.

205 **Onshore: Vollbetriebstunden jährlich** h/a 1.708 [206] **2.243** [209]

206 - STATUS-Ansatz: Mit 1.708 Vollbetriebsstunden waren die Onshore-Windernergieanlagen 2015 in Deutschland im Einsatz, resultierend aus 70.922 GWh Stromerzeugung [207] und 41.521 MW [190] installierter Leistung.

207 70.922 GWh Strom aus Onshore-Windenergie wurden im Jahr 2015 in Deutschland eingespeist [9.22], Zeile 23. 207

209 - ZIEL-Ansatz: Der belegte, aber bezüglich der künftigen Entwicklung der Nabenhöhen konservative Ansatz gemäß [212] wird im Interesse minimaler Flächenbeanspruchung durch eine optimistische Annahme von 2.243 Vollbetriebsstunden gemäß [210] ersetzt. Auf eine Verringerung des in der Studie angenommenen Verhältnisses von Generatorleistung zur Rotorkreisfläche wurde jedoch verzichtet, obwohl damit eine weitere Erhöhung der Vollbetriebsstundenzahl verbunden wäre (wie zum Beispiel in einer Agora-Studie angegeben [9.34] S. 10). Dies wäre nämlich mit einem steigenden Flächenbedarf verbunden, weil die Verwertbarkeitsgrenze starker Winde schon bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten erreicht wäre. Zur Präzisierung der hier getroffenen, mit Unsicherheiten verbundenen Abschätzung wären weitere GIS-Analysen angeraten. 209

210 Eine Steigerung der in der Studie [212] für Windenergie in Deutschland ermittelten Erträge und damit der mittleren Vollbetriebsstundenzahl um 7,94% auf 2.243 h/a lässt sich durch eine Steigerung der Nabenhöhen gemäß [211] erreichen. Dies resultiert aus einer Abschätzung aufgrund der von FWG veröffentlichten EEG-Referenzerträge von existierende Anlagentypen mit verschiedenen Nabenhöhen und Extrapolation, exemplarisch wurde das ENERCON-Typenspektrum oberhalb 2 MW Nennleistung verwendet [9.105]: Ertragssteigerung Starkwindanlagen um 12,06% durch Erhöhung der NH 100 m auf 150 m, bei Schwachwindanlagen um 3,81% durch NH 150 m auf 170 m. Unter Annahme gleicher Anteile an Stark- und Schwachwindanlagen resultiert die oben angegebene durchschnittliche Ertragssteigerung. 210

211 'Erträge und resultierende Vollbetriebsstunden gemäß [212] wären durch größere Nabenhöhen steigerbar. In einer Agora-Studie [9.34], S. 9, mit dem Zeithorizont 2033 werden durchschnittliche Nabenhöhen von 120 m für Starkwind- bzw. 150 m für Schwachwindanlagen erwartet und darauf verwiesen, dass hohe Türme auch 200 Meter erreichen können. Um eine minimale Flächnbeanspruchung zu erreichen, werden hier für das Zieljahr 2050 Nabenhöhen von 150 Metern (Starkwindstandorte) und 170 Metern (Schwachwindstanorte) angenommen. 211

212 2.078 Vollbetriebsstunden können in Deutschland im Mittel gemäß [9.78] S. 31 erreicht werden, wenn die gesamte für Onshore-Windenergie nutzbare Fläche ohne Restriktionen von 7,9 % der Bodenfläche vollständig belegt würde: Installierten Leistung 722 GW , daraus resultierenden Jahresproduktion 1500 TWh/a . Im Rahmen der angewendeten GIS-Analyse mit einem Raster von 100 mal 100 Metern wurden die restriktionsfreien und die eingeschränkt nutzbaren Flächen ermittelt und unter Einhaltung der erforderlichen Abstände mit Anlagen besetzt. Je nach Standortgüte wurden Starkwind-Referenzanlagen (Nabenhöhe 100 m, Rotorfläche/Generatorleistung 2,6 qm/kW) oder Schwachwindanlagen (Nabenhöhe 150 m, Rotorfläche/Generatorleistung 3,5 qm/kW) eingesetzt und die jährlich erreichbare Stromproduktion ermittelt. Aus den Summen von Stromproduktion und installierter Leistung resultiert die Vollbetriebsstundenzahl. 212

214 Windenergie Offshore 214

216	**Offshore Deutschland: Leistung am Netz**	MW	2.566	[217]	**54.000**	[219] 216

217 *- STATUS-Ansatz: Zur der im Jahresmittel 2015 effektiv in vollem Betrieb befindlichen Leistung sind explizit keine belastbaren Angaben verfügbar. Ersatzweise wird der Statuswert 3.541 MW vom 31.12.2015 um die Hälfte des Zubaus im Jahr 2015 von insgesamt 1.950 MW [9.81 Abb. 1] reduziert. Die effektiv wirksame Jahresmittelleistung 2015 wird so auf 2.566 MW geschätzt.* 217

219 - ZIEL-Ansatz: Für einen ambitionierten Ausbau der deutschen Offshore-Windenergie bis zur Potenzialgrenze gemäß [220] auf 54.000 MW spricht gemäß IWES [9.111], S. 8 aus Energiewirtschaftlicher Sicht die Minimierung des Speicherbedarfs zum Fluktuationsausgleich und damit verbunden der Speicherverluste. Zum anderen wird dadurch der Bedarf an Onshore-Flächen verringert. 219

220 "Die Potenzialgrenze der Offshore-Windenergie beträgt (...) 54.000 MW installierte Leistung. Dieser Wert ergibt sich aus der maximal installierbaren Leistung in Nord- und Ostsee unter Berücksichtigung des Raumbedarfs gemäß dem Raumordnungsplan des Bundesamts für Schifffahrt und Hydrographie (BSH)." (IWES [9.111], S. 13) 220

222	**Offshore Deutschl.: Vollbetriebsstunden jährlich**	h/a	4.255	[223]	**4.500**	[225] 222

223 *- STATUS-Ansatz: Die durchschnittlichen Vollbetriebsstundenzahl der deutschen Offshore-Windenergieanlagen im Jahr 2015 kann wegen der hohen Ausbaudynamik in diesem Jahr nicht seriös geschätzt werden. Ersatzweise wird gemäß einer Prognose für das Jahr 2014 im Auftrag der Übertragungsnetzbetreiber [9.184], S. 106 (Trendszenario), eine Vollbetriebsstundenzahl von 4.255 h/a angenommen. Dieser Wert kann aufgrund der Betriebserfahrungen im Alpha-Ventus-Windpark (vgl. [9.39]) als plausibel angesehen werden.* 223

225 - ZIEL-Ansatz: Wegen der energiewirtschaftlichen Vorteile einer geringeren Fluktuation werden hier in Anlehnung an [226] Offshore-Windenergieanlagen mit geringer Leistungsdichte angesetzt, die sich durch eine hohe Vollbetriebsstundenzahl von 4.500 h/a auszeichnen. 225

226 "Die Potenzialgrenze der (deutschen) Offshore-Windenergie beträgt 258 TWh/a. Um diesen Strombeitrag zu erzeugen, braucht es ca. 54 GW installierte Leistung. Dieser Wert ergibt sich aus der maximal installierbaren Leistung in Nord- und Ostsee unter Berücksichtigung des Raumbedarfs gemäß dem Raumordnungsplan des Bundesamts für Schifffahrt und Hydrographie (BSH)." ([9.111], S. 13)
Daraus resuliert eine gegenüber dem Durchschnitt einschlägiger Studien [227] relativ hohe Vollbetriebsstundenzahl von 4.778 h/a. Offensichtlich sind für die Szenarien Anlagen mit einer geringen Leistungsdichte (Generatorleistung/Rotorfläche) gewählt worden, obwohl sie wegen geringerer Energieerträge einen höheren Flächenbedarf aufweisen (die Winspitzen über Nennlast werden nicht verwertet). Der entscheidende Vorteil liegt jeoch in einer geringeren Fluktuation verbunden mit geringeren Anforderungen an Speicherbedarf, Speicherverluste und Netze.

227 Nach einem Studienvergleich der AEE zur Entwicklung der Volllaststunden im Kraftwerksbereich wird die deutsche Offshore-Windenergie für die Jahre 2040/2050 auf durchschnittlich etwa 3800 h/a eingeschätzt. Von insgesamt 13 Studienergebnissen liegen 7 nahe bei diesem Wert, 5 deutlich darunter (Minimum 3.500) und ein einziger (4.250) darüber.

229 Wasserkraft (ohne Pumpspeicher)

231 **Nutzanteil am technische Potenzial** % 81,9 [232] **81,9** [234]

232 - STATUS-Ansatz: Die Stromerzeugung aus Wasserkraft in Deutschland lag gemäß AEE [9.19], Zeile 12, im Jahresdurchschnitt 2008 bis 2015 bei 20219 GWh/a (20953, 17671, 22091, 22998, 19587). In Bezug zu 24689 GWh/a technischem Arbeitsvermögen [238] ist das technische Potenzial damit zu 81,9 % genutzt.

234 - ZIEL-Ansatz: Von einer Veränderung des heutigen Nutzungsumfangs der Wasserkraft in Deutschland [232] wird abgesehen. Eine Erhöhung erscheint kritisch wegen der besonderen ökologischen Sensibilität der Wasserläufe und nicht notwendig angesichts des geringen Beitrages zur Energieversorgung. Aber auch eine Reduzierung des bisher erfolgreichen Nutzungsumfangs erscheint wenig sinnvoll.

236 **Strom - Energieertrag** MWh/ha/a 0,690 [237] **0,690** [241]

237 - STATUS-Ansatz: Ein Energieertrag aus Wasserkraft in Niedersachsen von 0,690 MWh/ha/a resultiert aus dem technischen Potenzial von 24689 GWh/a [238] bezogen auf die Bodenfläche des Landes von 35.757.963 ha [65].

238 24.689 GWh/a beträgt das technische Potenzial (in der Quelle mit 'technischem Arbeitsvermögen' bezeichnet) der Wasserkraft in Deutschland gemäß einer externen Expertiese an den Wissenschaftlichen Beirat für globale Umweltveränderungen [9.120] S. 11. Das Regelarbeitsvermögen, also die tatsächliche Stromerzeugung im langjährigen Durchschnitt, wurde dort mit 17.029 GWh/a beziffert.

239 Eine andere, von AEE angeführte Quelle [9.19] Zeile 41 nennt mit 24.940 GWh/a einen nahezu identischen Wert als theoretisches Potenzial.

241 - ZIEL-Ansatz: Der Status-Ansatz wird übernommen, eventuelle Einflüsse auf das technische Potenzial [238], beispielsweise durch die Klimaveränderung, sind aus heutiger Sicht nicht hinreichend einschätzbar.

243 Energieholz (Forst)

245 **Energetisch genutzter Anteil am Zuwachs** % 45,5 [246] **44,4** [252]

246 - STATUS-Ansatz: 45,5 % resultieren aus dem Verhältnis von energetischer Holznutzung [247] und dem Energiepotenzial des jährlichen Holzzuwachses in den Forsten [250].

247 Auf 130.559GWh/a wird die energetische Holznutzung in Deutschland insgesamt geschätzt (Summe der Postitionen [248]).

248 Die energetische Holznutzung in Deutschland 2013 resultiert aus der Endenergiebereitstellung und bei der Bruttostromerzeugung unter Berücksichtigung des Jahresnutzungsgrades der Kraftwerke [249]: 44.929 GWh Strom (28,0 % Nutzungsgrad gemäß [350]); 65.530 GWh Wärme (Haushalte); 20.100 GWh Wärme (Industrie); vereinfachend wird bei Wärme (HW/HKW) ausschließlich von Heizkraftwerken ausgegangen, deren Holzbedarf bereits über die Stromerzeugung in die Kalkulation eingeht.

249 Energiebereitstellung bzw. Bruttostromerzeugung aus Holz in Deutschland 2013 gemäß [9.63], S. 9, 13, aufgrund der Werte für biogene Festbrennstoffe, eine Abgrenzung von Holz zu anderen Feststoffen wie z. B. Abfallverbrennung war aus Mangel geeigneter Daten nicht möglich: 12.580 GWh Strom; 65.530 GWh Wärme (Haushalte); 20.100 GWh Wärme (Industrie); 7.510 GWh Wärme (Heizwerke/Heizkraftwerke).

250 286.758 GWh/a (bezogen auf Vorratsfestmeter Vfm) beträgt das Energiepotenzial des jährlichen Holzzuwachses in den Forsten Deutschlands, resultierend aus einer Forstfläche von 10.581.468 ha [109] und einem Energieertrag von 27,1 Mio. Fm/a[258].

252 *- ZIEL-Ansatz: Das Potenzial an Energieholz direkt aus dem Wald mit einem Anteil von 23,3% am jährlichen Zuwachs [253] und aus anderen Quellen mit einem Anteil von 21,1% [255] ergibt einen insgesamt nutzbaren Anteil von 44,4% des jährlichen Zuwachses.*

253 *Unter der Annahme, dass 50% des insgesamt im Wald geernteten Holzes gemäß [254] direkt energetisch genutzt werden, sind das 23,3% vom Zuwachs.*

254 Bei einem schonenden, naturschtzorientierten Waldbau gemäß Clusterstudie der Forstlichen Versuchstanstalt für Niedersachsen, wie er in diesem Szenario für Deutschland angenommen wird, ist zumindest ein Erhalt des jährlichen Holz-Volumenzuwachses (Vorratsfestmeter) zu erwarten, dies setzt aber die Begrenzung der Holznutzung (Erntefestmeter) auf 4,9 Efm/ha/a voraus [9.187], S. 67 ff., entsprechend 46,7% vom Zuwachs.

255 *Auf Hinweis aus dem Nds. Landwirtschaftsministerium [9.170] wird das langfristig jährlich verfügbare Potenzial an Energieholz aus anderen Quellen wie folgt angesetzt: Landschaftspflegeholz 1,5 Mio. Fm/a, Altholz&Abfallholz&Industrieholz 1 Mio. Fm/a, insgesamt 2,5 Mio. Fm/a. Dies entspricht bei einem Zuwachs von 10,5 Vfm/ha/a [261] einer zusätzlichen virtuellen Waldfläche von 0,238 Mio. ha. Relativ zur bewirtschafteten Waldfläche Niedersachsens [99, Anhang D, D.1.113] von 1,128 Mio. ha [113] entspricht das 21,1%. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Wert ohne gravierende Fehler auch für Deutschland verwendbar ist.*

257	**Energieholz (Forst) - Energieertrag**	MWh/ha/a	27,1	[258]	**27,1**	[261]

258 *- STATUS-Ansatz: Einen Heizwert von 27,1 MWh/ha/a weist der jährliche Holzzuwachs in den Forsten Deutschlands durchschnittlich auf. Der Wert resultiert aus einem Volumenzuwachs der Holzvorräte von 11,23 Fm/ha/a in den Wäldern Deutschlands im Jahr 2012 gemäß [9.141], Tab. 5.01, und einem durchschnittlichen Energieinhalt von 2,41 MWh/Fm [259].*

259 *Ein durchschnittlicher spezifischer Energieinhalt von 2,41 MWh/Fm resultiert aus dem Ansatz in der Niedersächsischen Feuerstättenzählung 2013 [9.7], S. 18: Einem Holzvolumen von 3,5 Mio. Efm wird dort eine Energieinhalt von 8,44 Mio. MWh zugeordnet. Unter der Annahme, dass die deutschen Verhältnisse nicht gravierend abweichen, wird der Wert für Deutschland zugrunde gelegt.*

261 *- ZIEL-Ansatz: Bei einem schonenden, naturschtzorientierten Waldbau, wie er in einer Clusterstudie der Forstlichen Versuchstanstalt für Niedersachsen beschrieben wird [9.187] S. 67 ff, ist zumindest ein langfristiger Erhalt des jährlichen Holz-Volumenzuwachses zu erwarten. Bei gleichbleibenden Holzarten-Anteilen resultiert ein Energiertrag von mindestens 27,1 MWh/ha/a .*

264 Energieholz (Acker, inkl. Miscanthus)

266	**Energieholz (Acker) - Anbaufläche**	ha	6500	[267]	**6500**	[270]

267 - STATUS-Ansatz: Gemäß einer Studie des Von Thünen-Instituts [9.135], S. 4, waren in Deutschland im Jahr 2012 auf ha Ackerfläche mit Kurzumtriebsplantagen inkl. Miscanthus belegt. Hier wird konservativ davon ausgegangen, dass es seither keine nennenswerte Veränderung gab.

270 - ZIEL-Ansatz: Kein weiterer Ausbau, Beibehaltung des Status. Begründung: Die Erträge liegen bei Verwendung trockener Brennstoffe [277] zwar in der gleichen Größenordnung wie Biogas [373], allerdings ist dies besser zur Substitution im besonders kritischen Kraftstoff-Bereich geeignet und wird daher bevorzugt.

272	**Energieholz (Acker) - Energieertrag**	%	29,9	[273]	**51,4**	[277]

273 - STATUS-Ansatz: 29,9 MWh/ha/a [274], wobei dieser Wert für Kurzumtriebsplantagen gleichermaßen auch auf Miscanthus gelten kann [275].

274 Typische Erträge von Kurzumtriebsplantagen (z. B. Pappel, Weiden)gemäß FNR [9.93], S. 16: 12 t/ha/a Masseertrag, 185 GJ/ha/a Energieertrag entsprechend 51,4 MWh/ha/a (bei einem Wassergehalt=15%). Hinweis, dass die Verfeuerung meist mit einem Wassergehalt von 35%-55% erfolgt, gemäß Diagramm (S. 15) resultiert daraus ein auf 58,1 % reduzierter Heizwert und ein Energieertrag von 29,9 MWh/ha/a.

275 Typische Erträge aus Miscanthus-Anbau (Chinaschilf) gemäß [9.93], S. 16 liegen mit 219 GJ/ha/a zwar etwas höher, als bei Kurzumtriebsplantagen, gelten aber erst ab dem 3. Anbaujahr. Der Durchschnitt über die gesamte Standzeit liegt niedriger und dürfte so in etwa dem Energieertrag von Kurzumtriebsplantagen entsprechen.

277 - ZIEL-Ansatz: 51,4 MWh/ha/a [274], wobei im Gegensatz zum Status von der Verwendung luftgetrockneter Brennstoffe mit einem Wassergehalt von 15% ausgegangen wird, um die Verschwendung eines Teils der enthaltenen Energie zu vermeiden. Eventuelle Einflüsse auf die Wachstumsbedingungen, beispielsweise durch die Klimaveränderung, sind aus heutiger Sicht nicht hinreichend einschätzbar.

279 Energieholz gesamt

281	**Energieholz-Anteil für Gebäudewärme**	%	50,2	[282]	**0,0**	[284]

282 - STATUS-Ansatz: 50,2 % als Verhältnis von 65.530 GWh/a Energieholz für Haushalte [248] zu 130.559 GWh/a energetischer Holznutzung insgesamt [247].

284 - ZIEL-Ansatz: (Bei Abweichungen gilt Abgleichergebnis in _S.xlsx) Energieholz für Gebäudewärme (Kamine, Öfen, Kessel) erscheinen für die Zukunft nicht sinnvoll, vorzuziehen ist die Verwendung des begrenzten Brennstoffanfalls für anspruchsvollere Anwendungsbereiche wie Prozesswärme oder Stromerzeugung.

286	**Energieholzanteil für Prozesswärme**	%	15,4	[287]	**100,0**	[289]

287 - STATUS-Ansatz: 15,4 % als Verhältnis von 20.100 GWh/a Energieholz für Industrie [248] zu 130.559 GWh/a energetischer Holznutzung insgesamt [247].

289 - ZIEL-Ansatz: Energieholz ist hier vorrangig für Prozesswärme vorgesehen, um zumindest einen Teil der heute eingesetzten fossilen Brennstoffe zur Erzielung der hohen Temperaturen zu substituieren. Elementar ist dies bei Prozessen, die kohlenstoffhaltige Brennstoffe als Reaktionspartner erfordern.

291	**Energieholzanteil für Verstromung**	%	34,4	[292]	**0,0**	[294]

292 - STATUS-Ansatz: 34,4 % als Verhältnis von 44.929 GWh/a Energieholz für Stromerzeugung [248] zu 130.559 GWh/a energetischer Holznutzung insgesamt [247].

294 - ZIEL-Ansatz: Auf die Verstromung von Energieholz wird zugunsten der Prozesswärme verzichtet, da mit dem begrenzten Brennstoffangebot nur ein marginaler Beitrag zur Stromversorgung geleistet werden könnte, selbst bei Einsatz in Regelkraftwerken.

296	**Energieholzanteil für Wärmenetze**	%	0,0	[297]	**0,0**	[299]

297 - STATUS-Ansatz: 0 %. Begründung: Da der Energieholzeinsatz für Einspeisung von Abwärme aus Heizkraftwerken bereits über den Einsatz für Stromerzeugung in die Kalkulation eingeht, wird hier nur der Energieholzeinsatz von Heizwerken ohne Stromerzeugung angesetzt. Für Deutschland gibt es zwar Angaben zur Wärme von Heizwerken und Heizkraftwerken insgesamt, aber nicht differenziert [249]. Der Sachverhalt, dass dieser Wärmebeitrag insgesamt wesentlich niedriger liegt, als die Bruttostromerzeugung aus festen Biobrennstoffen [249], legt den Schluss nahe, dass es sich überwiegend um Abwärme aus Verstromung handelt. Vereinfachend wird daher die Wärme aus reinen Holz-Heizwerken hier vernachlässigt.

299 - ZIEL-Ansatz: Reine Biomasse-Heizwerke zur Versorgung mit Gebäudewärme über Wärmenetze erscheinen für die Zukunft nicht sinnvoll, vorzuziehen ist die Verwendung des begrenzten Brennstoffanfalls für anspruchsvollere Anwendungsbereiche wie Prozesswärme oder Stromerzeugung.

301 Stroh, energetische Nutzung

303	**Energetisch genutzter Anteil am Strohanfall**	%	0,2	[304]	**33,0**	[306]

304 - STATUS-Ansatz: Eine energetische Nutzung des anfallenden Getreidestrohs in relevantem Umfang findet in Deutschland bislang nicht statt. Einzig bekannte Nutzung ist das Biomasse-Heizkraftwerk Emsland mit einem jährlichen Stroheinsatz von 62.500 Tonnen [9.237]. Bei einem mittleren Heizwert von 14,05 MJ/kg (bei 86 % Trockenanteil) entspricht das einem Energieinhalt von 244 GWh/a. Bei einem Energieertrag von 23,8 MWh/ha/a [311] wird Getreidestroh von 10.235 ha Anbaufläche eingesetzt. Das sind 0,2 % der gesamten Getreideanbaufläche Deutschlands [86].

306 - ZIEL-Ansatz: Mit 33 % wird dem Vorschlag des IFEU-Papiers [308] gefolgt.

307 *Auf Hinweis aus dem Nds. Landwirtschaftsministerium [9.170] erscheint ausgehend von den Standortbedingungen in Niedersachsen ein energetisch nutzbares Strohpotenzial von 4.200 GWh/a angemessen. Das sind rund 20% des gesamten Strohanfalls, resultierend aus 898.000 ha Getreideanbaufläche [88] und 23,8 MWh/ha Energieertrag [313].*

308 In einem Positionspapier des IFEU [9.123] mit einer vergleichenden Bewertung von sieben verschiedenen Studien wird vorgeschlagen (S. 3), künftig maximal ein Drittel des anfallenden Getreidestrohs energetisch zu nutzen, um die Humusbilanz der Äcker auch langerfristig nicht zu beeinträchtigen.

310	**Getreidestroh - Energieertrag**	MWh/ha/a	23,8	[311]	**23,8**	[313]

311 - STATUS-Ansatz: 23,8 GWh/ha/a gemäß FNR[9.96], S. 16: Der Bruttojahresbrennstoffertrag von Getreidestroh ist dort mit 85,8 GJ/ha/a angegeben.

313 - ZIEL-Ansatz: Der Status-Ansatz wird übernommen, eventuelle Einflüsse auf die Wachstumsbedingungen, beispielsweise durch die Klimaveränderung, sind aus heutiger Sicht nicht hinreichend einschätzbar.

315	**Energiestrohanteil für Gebäudewärme**	%	0,0	[316]	**0,0**	[318]

316 - STATUS-Ansatz: (keine energetische Nutzung von Getreidestroh [304]).

318 - ZIEL-Ansatz: Strohbrennstoffe für Gebäudewärme (Pelletöfen, Pelletkessel) erscheinen nicht sinnvoll, vorzuziehen ist die Verwendung des begrenzten Brennstoffanfalls für anspruchsvollere Anwendungsbereiche wie Prozesswärme oder Stromerzeugung.

320	**Energiestrohanteil für Prozesswärme**	%	0,0	[321]	**100,0**	[323]

321 - STATUS-Ansatz: (keine energetische Nutzung von Getreidestroh [304]).

323 - ZIEL-Ansatz: Strohbrennstoffe sind hier vorrangig für Prozesswärme vorgesehen, um zumindest einen Teil der heute eingesetzten fossilen Brennstoffe zur Erzielung der hohen Temperaturen zu substituieren. Elementar ist dies bei Prozessen, die kohlenstoffhaltige Brennstoffe als Reaktionspartner erfordern.

325	**Energiestrohanteil für Verstromung**	%	100,0	[326]	**0,0**	[328]	325

326 - STATUS-Ansatz: Einzig bekannte Nutzung von Getreidestroh ist die Verstromung [304].

328 - ZIEL-Ansatz: Auf die Verstromung von Stroh wird zugunsten der Prozesswärme verzichtet, da mit dem begrenzten Brennstoffangebot nur ein marginaler Beitrag zur Stromversorgung geleistet werden könnte, selbst bei Einsatz in Regelkraftwerken.

330	**Energiestrohanteil für Wärmenetze**	%	0,0	[331]	**0,0**	[333]	330

331 - STATUS-Ansatz: (keine energetische Nutzung von Getreidestroh [304]).

333 - ZIEL-Ansatz: Reine Biomasse-Heizwerke zur Versorgung mit Gebäudewärme über Wärmenetze erscheinen für die Zukunft nicht sinnvoll, vorzuziehen ist die Verwendung des begrenzten Brennstoffanfalls für anspruchsvollere Anwendungsbereiche wie Prozesswärme oder Stromerzeugung.

335 **Verstromung biogene Brennstoffe (fest)**

337	**Strom aus Brennstoffen (fest) - Nutzungsgrad**	%	28,0	[338]	**36,2**	[342]	337

338 - STATUS-Ansatz: Angaben zum Durchschnitt des Nutzungsgrades waren direkt weder für Niedersachsen noch für Deutschland verfügbar. Ersatzweise erfolgte eine Annahme von 28% el. unter Orientierung an zwei konkreten Anlagen innerhalb des Effizienz-Spektrums [339], [340].

339 Aus den Betriebsdaten eines 2009 in Langelsheim in Betrieb genommenen Biomasse-Heizkraftwerkes lässt sich auf einen Jahresnutzungsgrad von 20,5% el. und 36,6% therm. schließen, dies ergab eine Auswertung in [9.196], Ho69.

340 Für das 2008 in Piesteritz in Betrieb genommenen Biomasse-Heizkraftwerk wird in [9.205], S. 11 ein Wirkungsgrad von 36,2% el. Brutto angegeben, außerdem erfolgt eine Dampfauskoppelung mit einem Wirkungsgrad von 55% therm..

342 - ZIEL-Ansatz: 36,2 % el. gemäß der Referenzanlage in Piesteritz [340] markieren aus heutiger Sicht das obere Ende erreichbarer Nutzungsgrade des künftigen Anlagenparks.

344	**Abwärme aus Verstromung - Nutzungsgrad**	%	16,7	[345]	**55,0**	[346]	344

345 - STATUS-Ansatz: Angaben zum effektiven Jahresnutzungsgrad als Verhältnis von tatsächlich genutzter Abwärme zum Brennstoffeinsatz zur Verstromung waren direkt weder für Niedersachsen noch für Deutschland verfügbar. Ersatzweise wird ausgehend vom elektrischen Nutzungsgrad 28% el.[338] über das Verhältnis von 7.510 GWh/a th. Wärmebereitstellung aus Heizkraftwerken [249] zu 12.580 GWh/a el. Stromerzeugung dieser Heizkraftwerke [249] der effektive Nutzungsgrad von 16,7 % gebildet.

346 - ZIEL-Ansatz: 55 % el. gemäß der Referenzanlage in Piesteritz [340] markieren aus heutiger das obere Ende erreichbarer Nutzungsgrade des künftigen Anlagenparks.

348 **Biogene Brennstoffe (fest) für Wärmenetze**

350	**Heizwerke/Wärmenetze - Nutzungsgrad**	%	75,0	[351]	**75,0**	[352]	350

351 - STATUS-Ansatz: Da keine geeigneten Belege verfügbar waren, wurde eine eigene Einschätzung getroffen.

352 - ZIEL-Ansatz: Da keine geeigneten Belege verfügbar waren, wurde eine eigene Einschätzung getroffen.

354 **Biogene Abfallstoffe (fest)**

356	**Strom aus Abfallstoffen (fest)**	GWh/a	5.912	[357]	**5.912**	[358]	356

357 - STATUS-Ansatz: 5.912 GWh Bruttostromerzeugung aus biogenem Anteil des Abfalls im Jahr 2016 gemäß BMWi [9.69] S. 8.

358 - ZIEL-Ansatz: Beibehaltung des Statuswertes aufgrund einer aus heutiger Sicht schwer einschätzbaren Entwicklung. Auf der einen Seite ließe sich der Anteil energetischer Verwertung vermutlich noch erhöhen. Auf der anderen Seite könnte die weitere Optimierung von Müllvermeidung zu einer Senkung der energetisch verwertbaren Mengen führen.

360	**Wärme aus Abfallstoffen (fest)**	GWh/a	11.933	[361]	**11.933**	[362]	360

361 - STATUS-Ansatz: 11.933 GWh Wärme (Endenergie) aus biogenen Abfallstoffen im Jahr 2016 gemäß BMWi [9.69] S. 13.

362 - ZIEL-Ansatz: Beibehaltung des Statuswertes aufgrund einer aus heutiger Sicht schwer einschätzbaren Entwicklung. Auf der einen Seite ließe sich der Anteil energetischer Verwertung vermutlich noch erhöhen. Auf der anderen Seite könnte die weitere Optimierung von Müllvermeidung zu einer Senkung der energetisch verwertbaren Mengen führen.

363 **Biogas**

365	**Biogas - NAWARO-Anbau**	ha	1.450.000	[366]	**1.621.000**	[368]	365

366 - STATUS-Ansatz: Gemäß FNR [9.96], S. 11, lag die Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe für Biogas im Jahr 2016 mit 1.450.000 ha bei 60 % der gesamten Energiepflanzen-Anbaufläche von 2.421.000 ha. Damit wurden 7,9 % der Landwirtschaftsfläche [76] für Biogasgewinnung beansprucht. Auf die Ackerfläche [88] bezogen ergibt sich rechnerisch ein Anteil von 12,3 % . Allerdings wurde hier vereinfachend auch die durch Grassilage für Biogas beanspruchte Dauergrünlandfläche von 275.586 ha einbezogen (von 66,6 Mio t FM Substrateinsatz waren 12 % entsprechend 8,0 Mio t FM Grassilage; bei einem Ertrag von 29 t FM/ha gemäß [9.96] S. 39 ergibt sich die genannte Fläche). Netto wird somit lediglich eine Ackerfläche von 1.174.414 ha beansprucht, das entspricht einem Anteil von 10,0 %. 366

368 - ZIEL-Ansatz: Innerhalb der Extrempositionen (bezüglich Anbau energetisch genutzter nachwachsender Rohstoffe) von einerseits der Leitstudie mit 22,5 % [369] der Landwirtschaftsfläche und andererseits THGND mit einem völligen Verzicht [370] geht der gewählte Ansatz vom Erhalt des Status Quo beim Anteil der energetisch beanspruchten Landwirtschaftsfläche von 13,3 % v. LF aus ([365][445][494][266][129][75]). Von 2.366.994 ha resultierender Zielfäche bleibt nach Abzug der übrigen Nutzungen (Pflanzenöl, Ethanol, Kurzumtrieb, Freiflächen-PV) eine Anbaufläche für Biogas von 1.621.195 ha entsprechend 9,1 % der Landwirtschaftsfläche [75]. 368

369 Leitstudie 2011 [9.57], S. 6: "Das begrenzte Potenzial der energetischen Nutzung von Biomasse verlangt einen sehr ressourceneffizienten Umgang (..) An nutzbarer inländischer Landfläche zum nachhaltigen Anbau von Energiepflanzen werden 4,2 %angenommen (entsprechend 22,5 % der Landwirtschaftsfläche)." 369

370 "Treibhausgasneutrales Deutschland 2050" [9.231], S. 44: "Das Umweltbundesamt steht dem Anbau von Biomasse eigens zur energetischen Nutzung kritisch gegenüber, unter anderem aufgrund der zunehmenden Konkurrenz um fruchtbare Anbauflächen, der unverhältnismäßig hohen Flächenintensität der Energiegewinnung aus Anbaubiomasse im Vergleich mit anderen erneuerbaren Energiequellen und der sozioökonomisch problematischen Verknüpfung mit den Lebensmittelpreisen am Weltmarkt. Daher werden nachfolgend nur Potenziale aus biogenen Abfallstoffen berücksichtigt." 370

371 Die komplexen Zusammenhänge zwischen Bioenergie-Anbaupotenzialen, Nahrungsmittelversorgung, Ernährungsgewohnheiten, Agrarimporten, Umweltgesichtspunkten, Nachhaltigkeit und die daraus resultierenden Entwicklungsperspektiven werden im Rahmen dieses Szenarios nicht näher betrachet, sie werden beispielsweise in der Studie des Umweltbundesamtes "Treibhausgasneutrales Deutschland 2050" [9.231], S. 291 ff., ausführlich behandelt. 371

373 **Biogas - Methanertrag** MWh/ha/a 51,6 [374] **41,3** [380] 373

374 - STATUS-Ansatz: Resultiert aus dem Heizwert der 2016 erzeugten Biogasmenge aus Energiepflanzen von 74.779 GWh [375] bezogen auf die dafür beanspruchte Anbaufläche von 1.450.000 ha [378]. 374

375 Einen Heizwert von 74.779 GWh besaß die im Jahr 2016 praktisch vollständig verstromte Biogasmenge aus Energiepflanzenanbau (was auch auf das ins Gasnetz eingespeiste Biomethan zutrifft), resultierend aus der Stromerzeugung [376] und dem durchschnittlichen Verstromungs-Wirkungsgrad von 38% gemäß [9.96] S. 39. 375

376 28.416 GWh Stromerzeugung aus Biogas entfallen auf nachwachsende Rohstoffe - resultierend aus der gesamten Stromerzeugung [377] und einem Leistungsanteil von 87,7% , wie er auf Basis [9.96] in [9.199] abgeschätzt wurde. 376

377 Dem Wert 32.416 GWh für die Stromerzeugung aus Biogas in Deutschland gemäß [378] wird der abweichenden Angabe von 31.750 GWh gemäß [9.69] S. 8 der Vorzug gegeben. 377

378 Gemäß FNR [9.96], S. 11, lag die Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe inklusive Grassilage von Dauergrünland für Biogas im Jahr 2016 bei 1.450.000 ha [366].
Die Stromerzeugung aus Biogas lag bei 32.416 GWh (62,7 % Biogasanteil von 51,7 TWh Stromerzeugung aus Biomasse gemäß [9.96] S. 5). 378

380 - ZIEL-Ansatz: 41,3 MWh/ha/a entsprechend 80 % vom Status resultieren aus dem Versuch einer Abwägung der steigernden Einflüsse [381] und der senkenden Einflüsse [382] auf den Methanertrag, die aus heutiger Sicht nur umrisshaft erkennbar sind.
Dies erscheint wegen der Unsicherheiten als optimistischer Ansatz. 380

381 Steigernde Einflüsse sind nur noch in geringem Umfang zu erwarten: Weitere Optimierung von Sorten, Ackerbau und Gärprozess, ausgehend von einem bereits hohen erreichten Standard. 381

382 Senkende Einflüsse könnten dagegen in erheblichem Umfang wirksam werden: Optimierung hinsichtlich Bodenerosion, Humusgehalt, Ökolandbau, Biodiversität, Artenschutz. Als idealtypischer Ansatz erscheinen aus heutiger Sicht beispielsweise Wildpflanzen als Biogassubstrat. Die bundesweite Feldforschung durch die bayrische Landesanstalt für Wein- und Gartenbau lässt ein hohes Problemlösungspotenzial zum Ziel einer zukunftsfähigen Wirtschaftsweise bereits erkennen [9.45]. Durch die damit verbundene Extensivierung liegen die heute erreichbaren Methanerträge allerdings erst bei knapp der Hälfte von Mais [9.45] S. 24. 382

384 **Biogas aus Abfall-/Reststoffverwertung** GWh/a 15.039 [385] **30.079** [388] 384

D.1. Datenmodell 'Deutschland 100%EE' (180616) Einheit STATUS ZIEL

385 - STATUS-Ansatz: Einen Heizwert von 15.039 GWh besaß die im Jahr 2013 praktisch vollständig verstromte Biogasmenge aus Landwirtschaftlichen Reststoffen und Bioabfällen (was auch auf das ins Gasnetz eingespeiste Biomethan zutrifft), resultierend aus der Stromerzeugung [386] und einem durchschnittlichen Verstromungs-Wirkungsgrad von 38% gemäß [9.93] S. 37.

386 4.000 GWh Stromerzeugung aus Biogas entfallen auf die Verwertung von Landwirtschaftlichen Reststoffen (Gülle, Festmist, Gärreste) und Bioabfällen (Fette, Flotate, organische Abfälle) mit einem Leistungsanteil von 12,3 % gemäß [9.199] , bezogen auf die gesamte Stromerzeugung aus Biogas [376] .

388 - ZIEL-Ansatz: Aus einer Studie, die von einer Verdoppelung der Biogasproduktion aus Wirtschaftsdünger bis 2030 ausgeht [389], wird die Erhöhung um 100% auf 30.079 GWh/a übernommen. Der Ansatz erscheint wegen erheblicher Unwägbarkeiten allerdings eher optimistisch, beispielsweise bezüglich der Verfügbarkeit von Gülle und Mist aufgrund veränderter Bedingungen bei der Fleischproduktion.

389 Studie von Airbus zur nachhaltigen Biokerosin-Produktion auf Basis von Biogas: "…wird aufgrund der Auswirkungen der Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger und der Niedersächsischen Verordnung über Meldepflichten in Bezug auf Wirtschaftsdünger annähernd eine Verdoppelung des heutigen Werts von 30% erwartet. Während heute 14% des Bioabfallaufkommens ernergetisch genutzt wird, ist nach Ende der Nutzungsdauer bestehender Kompostierungsanlagen eine Erhöhung auf 20 bzw. 30% anzunehmen."

391 **Gase aus Deponien und Kläranlagen** GWh/a 4.753 [392] **4.753** [395]

392 - STATUS-Ansatz: Einen Heizwert von 4753 GWh besaß die im Jahr 2016 praktisch vollständig verstromte Gasmenge aus Deponien und Kläranlagen, resultierend aus der Stromerzeugung [393] und einem durchschnittlichen Verstromungs-Wirkungsgrad von 38% gemäß [9.96] S. 37.

393 1806 GWh Stromerzeugung aus Deponie- und Klärgasen im Jahr 2016 resultieren aus 3,5 % Anteil an der gesamten Stromerzeugung aus Biomasse von 51,6 TWh gemäß [9.96], S. 5.

395 - ZIEL-Ansatz: Es erscheint als unwahrscheinlich, das der heute vernachlässigbare Anteil an der Energieversorgung um Größenordnungen gesteigert werden kann. Daher wurde hier vereinfachend der Statuswert fortgeschrieben.

397 **Biogas-Anteil für Prozesswärme** % 0,0 [398] **24,5** [400]

398 - STATUS-Ansatz: Es liegt die Vermutung nahe, dass Biogas für die Erzeugung von Prozesswärme bisher keine nennenswerte Rolle spielt: Die Wärmebereitstellung aus gasförmigen Brennstoffen liegt mit 17.482 GWh (10,4 % von 168,1 TWh Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2016 gemäß [9.96] S. 6), bei einem Bruchteil der eigentlich nutzbaren Abwärme, die bei der Stromerzeugung von 32.416 GWh anfällt. Es ist anzunehmen, dass es sich bei der angegebenen Wärmebereitstellung größtenteils um Verstromungsabwärme mit Temperaturen unterhalb 100°C handelt und damit die Temperaturanforderungen von Prozesswärme nicht erfüllt.

400 - ZIEL-Ansatz: (Bei Abweichungen gilt Abgleichergebnis in _S.xlsx) Etwas über ein Drittel des Biogases wird für Prozesswärme zur Substitution fossiler Brennstoffe verwendet, der größere Teil aber für die mobilen Anwendungen, da die Substitution der fossilen Brennstoffe dort höchst anspruchsvoll ist.

402 **Biogas-Anteil für Verstromung** % 99,6 [403] **0,0** [405]

403 - STATUS-Ansatz: Bis auf einen kleinen Verwendungs-Anteil als Kraftstoff [419] wurde das gesamte Biogas einschließlich Deponie- und Klärgase in Deutschland 2016 für Verstromung verwendet.

405 - ZIEL-Ansatz: Auf die Verstromung von Biogas wird zugunsten der Mobilen Anwendungen verzichtet. Mit dem begrenzten Brennstoffangebot könnte nur ein geringer Beitrag zur Stromversorgung geleistet werden, selbst bei Einsatz in Regelkraftwerken. Dafür ist Biogas von großem Wert zur Substitution fossiler Kraftstoffe und Brennstoffe im Prozesswärmebereich.

407 **Biogasverstromung - Nutzungsgrad** % 38,0 [408] **45,0** [410]

408 - STATUS-Ansatz: Aktueller Durchschnittswert des deutschen Anlagenbestandes 2016 gemäß FNR [9.96] S. 39.

410 - ZIEL-Ansatz: Orientiert am oberen Ende der Bandbreite heutiger elektrischer Wirkungsgrade von Biogas-BHKWs zwischen 28-47% gemäß FNR [9.93] S. 47.

412 **Biogasverstr. - Nutzungsgrad KWK-Abwärme effektiv** % 19,4 [413] **25,0** [417]

413 - STATUS-Ansatz: Der bei der Biogas-Verstromung tatsächlich genutzte Teil der anfallenden Abwärme [414] relativ zum Heizwert des zur Verstromung eingesetzten Biogases [415] (vereinfachend wird hier von der Nutzung als Gebäudewärme ausgegangen). Wegen Eigenverbrauch der Biogaserzeugung und örtlicher/zeitlicher Nichtübereinstimmung von Wärmeangebot und Wärmebedarf liegt der Wert erheblich unter dem thermischen Wirkungsgrad der Blockheizkraftwerke von 34-55% gemäß [9.96] S. 46.

414 17482 GWh Wärme wurde 2016 aus Biogas bereitgestellt gemäß [9.96] S. 40. Es ist anzunehmen, dass es sich dabei praktisch vollständig um über Kraft-Wärme-Kopplung genutzte Abwärme aus der Biogasverstromung handelt.

415 90.058 GWh Biogas und Deponie- und Klärgas im Jahr 2016, resultierend aus 85.305 GWh Biogas (32.416 GWh Strom aus Biogasverstromung [377] bei einem Wirkungsgrad von 38% [408]) plus Deponie-/KLärgasen von 4753 GWh [392].

417 - ZIEL-Ansatz: Leichte Erhöhung gegenüber dem Status, resultierend aus folgender Überlegung: Beispielsweise durch erhöhte Anzahl von Satelliten-BHKW an Orten mit Wärmeabnahme lässt sich die Abwärmenutzung steigern. Bei verstärkt intermittierender BHKW-Betriebsführung zum Ausgleich von Strommangelphasen wird allerdings die zeitliche Übereinstimmung von Wärme-Angebot und -Bedarf weiter zurückgehen bzw. verlustbehaftete Wärmespeicherung erforderlich machen.

419	**Biogas-Anteil als Biomethan für Mobile Antriebe**	%	0,4	[420]	**73,8**	[422]

420 - STATUS-Ansatz: Gemäß [421]:

421 0,4% der gesamten Biogaserzeugung in Deutschland 2016 wurden im Verkehrssektor als Kraftstoff verwendet, resultierend aus dem Verhältnis von 370 GWh im Verkehrssektor gemäß [9.69], S. 17, zu 85.305 GWh für die Verstromung (mit 32.416 GWh Stromerzeugung [377] und 38% Verstromungswirkungsgrad [375]).

422 - ZIEL-Ansatz: (Bei Abweichungen gilt Abgleichergebnis in _S.xlsx) Biogas ist vorrangig zur Kraftstofferzeugung für die mobilen Anwendungen vorgesehen (vor allem Güterverkehr), da hier die Substitution der fossilen Kraftstoffe besonders anspruchsvoll ist.

424	**Biogas zu Biomethan-Kraftstoff - Nutzungsgrad**	%	94,0	[425]	**94,0**	[428]

425 - STATUS-Ansatz: Annahme gemäß [426].

426 Verluste bei Aufbereitung und Hochdruckverdichtung zur Verwendung von Biogas als Kraftstoff: 5% bis 7% gemäß [9.229].

428 - ZIEL-Ansatz: Wegen der verlustarmen Bereitstellung von hochkomprimiertem Biomethan wird dies für mobile Anwendungen am Boden vorgesehen, wo es problemlos handhabbar ist. Der heutige Nutzungsgrad [426] wird auch für die Zukunft angenommen.

431	**Biogas-Anteil als Flüssigkraftst.für Mobile Antriebe**	%	0,0	[432]	**1,7**	[433]

432 - STATUS-Ansatz: Bislang keine Erzeugung von Flüssigkraftstoffen aus Biogas.

433 - ZIEL-Ansatz: Biogas ist vorrangig zur Kraftstofferzeugung für die Mobilen Anwendungen vorgesehen, da hier die Substitution der fossilen Kraftstoffe besonders anspruchsvoll ist. Dies trifft besonders auf den Luftverkehr zu, der wegen fehlender Elektrifizierungs-Möglichkeit wohl weitgehend auf Kraftstoffe - und hier aus verschiedenen Gründen (Platzbedarf, Handhabbarkeit, Sicherheit, Wandlungsverluste synthetischen Wasserstoffs) auf Kohlenwasserstoffe - angewiesen bleiben wird.

435	**Biogas zu Flüssigkraftstoff - Nutzungsgrad**	%	45,0	[436]	**45,0**	[441]

436 - STATUS-Ansatz: Annahme eines kumulierten Wirkungsgrades gemäß [437].

437 Gemäß [438] liegt der energetische Wirkungsgrad der Fischer-Tropsch-Synthese, unter Berücksichtigung aller zusätzlich erforderlichen Prozessschritte zur Erzeugung flüssiger Kohlenwasserstoffe aus reformiertem Biogas bei 67 %. Der stoffliche Wirkungsgrad zur Erzeugung von den als Flüssigkraftstoff einsetzbaren Produkten Kerosin und Diesel (C9 bis C24) beträgt dabei 45%.

438 Der berechnete stoffliche Wirkungsgrad zur Erzeugung von Kerosin (C9 bis C14) beträgt 30% für das ausgewählte Konzept gemäß [439]. Neben Kerosin werden weitere energetisch nutzbare Produkte (Diesel und Naphta) sowie Strom aus Abwärme erzeugt (7%). Der stoffliche Wirkungsgrad zur Erzeugung von Diesel (C15 bis C24) beträgt dabei 15% [9.37], S. 48, Tab.6-11. Damit können in Summe 45% der eingesetzten Energie in Form der Zielprodukte Kerosin und Diesel genutzt werden (7% Strom bleibt hier unberücksichtigt).

439 In [9.37] wurden verschiedene Konzepte zur Erzeugung von Kerosin aus Biogas betrachtet. Diese bestehen jeweils aus den Prozessschritten Reformierung, Synthesegasaufbereitung, Fischer-Tropsch-Synthese und Produktaufbereitung. Die ermittelten energetischen Wirkungsgrade betragen im Mittel 63 %, während das effizienteste Konzept ([9.37], S. 48, Tab.6-11) mit den geringsten Gestehungskosten für Kerosin ([9.37], S. 96, Tab.8-11) einen Wirkungsgrad von 67 % erreicht.

441 - ZIEL-Ansatz: Der heutige Nutzungsgrad [437] wird auch für die Zukunft angenommen.

443 **Biodiesel (inkl. Pflanzenöl)**

445	**Biodiesel - Anbaufläche**	ha	760.000	[446]	**303.000**	[448]

446 - STATUS-Ansatz: Gemäß FNR [9.96], S. 11, lag die Anbaufläche für Biodiesel im Jahr 2016 bei 760.000 ha, das entspricht 31,4 % der gesamten Energiepflanzen-Anbaufläche von 2.421.000 ha, 6,5 % der Ackerfläche [81] bzw. 4,2 % der Landwirtschaftsfläche [76]. Mit dem resultierenden Biodiesel von ca.13.490 GWh/a lassen sich etwa zwei Drittel des Dieselbedarfs der deutschen Landwirtschaft in Höhe von ca. 19.400 GWh/a decken

448 - ZIEL-Ansatz: Innerhalb der Extrempositionen (bezüglich Anbau energetisch genutzter nachwachsender Rohstoffe) von einerseits der Leitstudie mit 22,5 % der Landwirtschaftsfläche [369] und andererseits THGND mit einem völligen Verzicht [370] geht der gewählte Ansatz von einer Halbierung der Pflanzenöl-Anbaufläche aus [446]. Die angenommene Zielfläche von 303.000 ha entspricht 1,7% der Landwirtschaftsfläche [164]. Die Minderung erfolgte zugunsten von Biogas [368] wegen der mehrfach höheren Energieerträge. Mit dem Kraftstoff kann aber zumindest ein Teil des Verbrauchs landwirtschaftlicher Maschinen gedeckt werden.

450 **Biodiesel - Energieertrag** MWh/ha/a 17,8 [451] **14,2** [454]

451 - STATUS-Ansatz: Resultiert aus einem durchschnittlichen Biodiesel-Ertrag aus Rapsanbau von 1.775 l/ha/a gemäß [9.96] S. 26, und einem Biodiesel-Heizwert gemäß [452]: 63.900 MJ/ha/a entsprechend 17,8 MWh/ha/a.

452 Heizwert Biodiesel gemäß [9.96] S. 28: 32,65 MJ/l .

454 - ZIEL-Ansatz: 14,2 MWh/ha/a entsprechend 80 % vom Status resultieren aus dem Versuch einer Abwägung der steigernden Einflüsse [455] und der senkenden Einflüsse [456] auf den Biodieselertrag, die aus heutiger Sicht nur umrisshaft erkennbar sind.

455 Steigernde Einflüsse sind nur noch in geringem Umfang zu erwarten: Weitere Optimierung von Sorten, Ackerbau und Herstellungsprozess, ausgehend von einem bereits hohen erreichten Standard.

456 Senkende Einflüsse könnten dagegen in erheblichem Umfang wirksam werden: Optimierung hinsichtlich Einschränkungen beim Pflanzenschutz, Ökolandbau, Biodiversität.

458 **Biodiesel aus Import (+) / Export (-)** GWh/a 10.004 [459] **0** [468]

459 - STATUS-Ansatz: Resultiert aus dem von den Energieverbrauchern Deutschlands 2016 verursachten Biodiesel- und Pflanzenölverbrauch (größtenteils als Beimischung zum Dieselkraftstoff) gemäß [461], abzüglich der auf eigener Fläche erzeugten Menge [466]. Der Importanteil liegt bei 42,6 % vom Verbrauch.

461 23.494 GWh Gesamtverbrauch an Biodiesel inklusive Pflanzenöl in Deutschland 2016, resultierend aus der Summe der Einzelverbäuche: Verkehrssektor 20.915 GWh [462], Verstromung 1.054 GWh [463], Landwirtschaft 1.525 GWh [464].

462 20.915 GWh Verbrauch an Biodiesel (20.873 GWh) inklusive Pflanzenöl (42 GWh) im Verkehrssektor 2016 gemäß [9.69] S. 17.

463 1.054 GWh Verbrauch an flüssigen Biobrennstoffen für Verstromung in Deutschland 2013 (unterstellt wird größtenteils Biodiesel und Pflanzenöl), resultierend aus einer Bruttostromerzeugung von 411 GWh gemäß [9.69], S. 8, mit einem Nutzungsgrad von 39,0% gemäß [482] .

464 1.525 GWh Verbrauch an Biodiesel in der Landwirtschaft 2016, resultierend aus dem zusammengefassten Wert für 'Wärme inklusive Landwirtschaft' von 2.052 GWh gemäß [9.69], S. 13, abzüglich der Abwärme aus Verstromung von 527 GWh gemäß [465] .

465 527 GWh Abwärme aus Verstromung flüssiger Biobrennstoffe in Deutschland 2016 (unterstellt wird größtenteils Biodiesel und Pflanzenöl), resultierend aus einem Verbrauch an flüssigen Biobrennstoffen für Verstromung von 1.054 GWh gemäß [463] und einem thermischen Nutzungsgrad von 50,0% gemäß [487] .

466 Ein Anteil von 13490 GWh am Biodiesel bzw. Pflanzenöl-Aufkommen stammte 2016 aus dem Anbau von Raps in Deutschland, resultierend aus einer Anbaufläche von 760.000 ha [446] und einem Energieertrag von 17,8 MWh/ha/a [451] .

468 - ZIEL-Ansatz: Ein Import von Pflanzenölprodukten für energetische Zwecke ist nicht vorgesehen, übereinstimmend mit der Leitstudie [469] und THGND [470]. Vor dem Hintergrund gravierender globaler Probleme erscheint die Inanspruchnahme von Anbauflächen im Ausland nicht sinnvoll: Welthungerproblem in Verbindung mit globalem Bevölkerungswachstum und Wüstenbildung, Verluste tropischer Wälder, Bodenschädigung durch Palmölplantagen.

469 Leitstudie 2011 [9.57], S. 6: "Da das nachhaltig nutzbare globale Biomassepotenzial auf nur etwa 100 EJ geschätzt wird, stellt ein deutlicher Biomasseimport keine nachhaltige Strategie dar. Es werden daher in dieser Studie keine (Netto-)Importe an energetisch genutzter Biomasse angenommen."

470 "Treibhausgasneutrales Deutschland 2050" [9.231], S. 44, 70: "Das Umweltbundesamt steht dem Anbau von Biomasse eigens zur energetischen Nutzung kritisch gegenüber, unter anderem aufgrund der zunehmenden Konkurrenz um fruchtbare Anbauflächen, der unverhältnismäßig hohen Flächenintensität der Energiegewinnung aus Anbaubiomasse im Vergleich mit anderen erneuerbaren Energiequellen und der sozioökonomisch problematischen Verknüpfung mit den Lebensmittelpreisen am Weltmarkt." Auch ein Import von flüssigen Biobrennstoffen ist in der Studie nicht vorgesehen.

472 **Biodiesel - Anteil für Mobile Anwendungen** % 95,5 [473] **100,0** [475]

473 - STATUS-Ansatz: Resultiert nach dem Verusacher- bzw. Solidarprinzip aus dem Verhältnis des deutschen Biodiesel- und Pflanzenöl-Verbrauchs im Verkehrssektor von 20.915 GWh [462] plus Landwirtschaft von 1.525 GWh [464] zum Gesamtverbrauch von 23.494 GWh [461].

475 - ZIEL-Ansatz: Biodiesel bzw. Pflanzenöl ist vorrangig als Kraftstoff für die Landwirtschaft und andere Mobile Anwendungen vorgesehen, da hier die Substitution der fossilen Kraftstoffe besonders anspruchsvoll ist. Dies trifft besonders auf den Luftverkehr zu, der wegen fehlender Elektrifizierungs-Möglichkeit wohl weitgehend auf Kraftstoffe - und hier aus verschiedenen Gründen (Platzbedarf, Handhabbarkeit, Sicherheit, Wandlungsverluste synthetischen Wasserstoffs) auf Kohlenwasserstoffe - angewiesen bleiben wird.

477 **Biodiesel - Anteil für Verstromung** % 4,5 [478] **0,0** [480]

478 - STATUS-Ansatz: Resultiert nach dem Verusacher- bzw. Solidarprinzip aus dem Verhältnis des deutschen Biodiesel- und Pflanzenöl-Verbrauchs für Verstromung von 1.054 GWh [463] zum Gesamtverbrauch von 23.494 GWh [461].

480 - ZIEL-Ansatz: Auf die Verstromung von Bioiesel bzw. Pflanzenöl wird zugunsten der Mobilen Anwendungen verzichtet, da mit dem begrenzten Brennstoffangebot nur ein zu vernachlässigend geringer Beitrag zur Stromversorgung geleistet werden könnte, selbst bei Einsatz in Regelkraftwerken.

482 **Biodiesel-Verstromung - Nutzungsgrad** MWh/ha/a 39,0 [483] **39,0** [485]

483 - STATUS-Ansatz: Nach einer Studie zu BHKW-Kenndaten [9.42], S. 11, liegen die von den Herstellern angegebenen elektrischen Wirkungsgrade von Pflanzenöl-BHKW im Bereich von minimal 29% bis maximal 46%, der Durchschnitt liegt bei 39 %. Dieser Wert dient als Orientierung für den Jahresnutzungsgrad, der mit 39% angenommen wird.

485 - ZIEL-Ansatz: Es ist davon auszugehen, dass bei der heutigen Blockheizkraftwerk-Technologie die Effizienzpotenziale weitgehend ausgeschöpft sind. Daher wird der Statuswert als Ziel übernommen.

487 **Biodiesel-Verstr. - Nutzungsg. KWK-Abwärme eff.** MWh/ha/a 50,0 [488] **50,0** [490]

488 - STATUS-Ansatz: Repräsentative Statistikdaten zum thermischen Jahresnutzungsgrad des tatsächlich als Gebäudewärme verwerteten Abwärmeanteils liegen nicht vor. Er dürfte wegen der meist stromgeführten Betriebsweise auch in Zeiten mit geringer Wärmenachfrage erheblich unter dem thermischen BHKW-Wirkungsgrad liegen. Hier wird eine vor diesem Hintergrund optimistische Annahme getroffen.

490 - ZIEL-Ansatz: Es ist davon auszugehen, dass bei der heutigen Blockheizkraftwerk-Technologie die Effizienzpotenziale weitgehend ausgeschöpft sind. Daher wird der Statuswert als Ziel übernommen.

492 **Bioethanol**

494 **Bioethanol - Anbaufläche** ha 200.000 [495] **0** [497]

495 - STATUS-Ansatz: Gemäß FNR [9.96], S. 11, lag die Anbaufläche für Bioethanol im Jahr 2016 bei 200.000 ha, das entspricht 8,3 % der gesamten Energiepflanzen-Anbaufläche von 2.421.000 ha, 1,7 % der Ackerfläche [76] bzw. 1,1 % der Landwirtschaftsfläche [81].

497 - ZIEL-Ansatz: Energiepflanzenanbau für die Ethanolproduktion ist nicht mehr vorgesehen. Die Nutzung der begrenzten Energiepflanzen-Anbauflächen für Biogas erscheint wegen der erheblich höheren Flächenproduktivität [373] sinnvoller. Dies um so mehr, als der erhebliche Energieaufwand zur Ethanolherstellung zu einem stark reduzierten Netto-Energieertrag führt.

499 **Bioethanol - Energieertrag (brutto)** MWh/ha/a 28,2 [500] **22,6** [505]

500 - STATUS-Ansatz: Resultiert aus einem durchschnittlichen Bioethanol-Ertrag aus Getreide- und Zuckerrübenanbau von 4.823 l/ha/a gemäß [501] und einem Bioethanol-Heizwert von 21,1 MJ/l gemäß [503]: 101.578 MJ/ha/a entsprechend 28,2 MWh/ha/a.

501 Gemäß [9.96] S. 27 liegt der durchschnittliche Bioethanolertrag aus Weizen bei 2.926 l/ha/a , dieser Wert wird als Durchschnitt für Bioethanol aus Getreide genutzt (Mais liegt höher, andere Getreidesorten niedriger, deren Anteile sind nicht bekannt). Der Ertrag aus Zuckerrüben liegt danach bei 7.700 l/ha/a. Ein durchschnittlicher Bioethanolertrag von 4.823 l/ha/a resultiert aus dem gewichteten Mittel entsprechend der Anteile an der Bioethanolproduktion [502].

502 Gemäß [9.249] stammten 60,3% (404.954 t) der deutschen Bioethanolproduktion 2013 aus Getreide, 39,7% (267.074 t) aus Zuckerrüben.

503 Heizwert Bioethanol gemäß [9.96] S. 30: 21,06 MJ/l .

505 - ZIEL-Ansatz: 22,6 MWh/ha/a entsprechend 80 % vom Status resultieren aus dem Versuch einer Abwägung der steigernden Einflüsse [506] und der senkenden Einflüsse [507] auf den Biodethanol-Ertrag, die aus heutiger Sicht nur umrisshaft erkennbar sind.

506 Steigernde Einflüsse sind nur noch in geringem Umfang zu erwarten: Weitere Optimierung von Sorten, Ackerbau und Herstellungsprozess, ausgehend von einem bereits hohen erreichten Standard.

507 Senkende Einflüsse könnten dagegen in erheblichem Umfang wirksam werden: Optimierung hinsichtlich Einschränkungen beim Pflanzenschutz, Ökolandbau, Biodiversität.

509 **Bioethanol aus Import (+) / Export (-)** GWh/a 3.019,8 [510] **0,0** [515]

510 - STATUS-Ansatz: Resultiert aus dem von den Energieverbrauchern Niedersachsens 2013 nach dem Verursacher-Prinzip verursachten Bioethanol-Verbrauch (vollständig als Beimischung zum Ottokraftstoff) gemäß [511], abzüglich der auf eigener Fläche erzeugten Menge [513]. Der Importanteil liegt bei 34,9 % vom Verbrauch.

512 8.663 GWh Verbrauch von Bioethanol im Verkehrssektor in Deutschland 2016 gemäß [9.69] S. 17.

513 Ein Anteil von 5643 GWh am Bioethanol-Aufkommen stammte2016 aus dem Anbau von Getreide und Zuckerrüben in Deutschland, resultierend aus einer Anbaufläche von 200.000 ha [495] und einem durchschnittlichen Energieertrag von 28,2 MWh/ha/a [500] .

515 - ZIEL-Ansatz: Ein Import von Bioethanol bzw. dessen Ausgangsprodukten für energetische Zwecke ist nicht mehr vorgesehen. Vor dem Hintergrund gravierender globaler Probleme erscheint die Inanspruchnahme von Anbauflächen im Ausland nicht sinnvoll: Welthungerproblem in Verbindung mit globalem Bevölkerungswachstum, Wüstenbildung.

517 **Umgebungswärme (Wärmepumpe)**

519 **Wärmepumpen - Stromverbrauch jährlich** GWh/a 3.646 [520] **74.745** [524]

520 - STATUS-Ansatz: Gemäß [521]:

521 Gemäß BMWI [9.69] S. 13 lag die durch Wärmepumpen nutzbar gemachte erneuerbare Wärme (Luft/Wasser-, Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen sowie Brauchwasser- und Gaswärmepumpen) in Deutschland 2016 bei 11.304 GWh. Mit einer durchschnittlichen Jahrearbeitszahl von 3,1 aus dem gewichteten Mittel der Luftgekoppelten [528][534] und der Erdreichgekoppelten [521][542] Wärmepumpen ergibt sich eine Stromaufnahme von 3.646 GWh.

524 - ZIEL-Ansatz: (Bei Abweichungen gilt Abgleichergebnis in _S.xlsx) Gewählt entsprechend dem Bedarf an Gebäudewärme, der nicht aus anderen Quellen (Abwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung, Solarthermie, Brennstoffen, elektrische Widerstandsheizungen) gedeckt wird. Hier werden Wärmepumpen als ideale Lösung zur Schonung der begrenzten Brennstoffpotenziale und wegen der 3-4 fachen Wärmeausbeute auch zum Ersatz der strombetriebenen Widerstandsheizungen eingesetzt. Unter Annahme der Jahresvollbenutzungstunden gemäß [525] resultiert eine elektrische Anschlussleistung von 43.968 MW .

525 Nach Untersuchungen des Bundesverbandes Wärmepumpe hat eine bessere Wärmedämmung durch energetische Sanierung und zunehmenden Anteil energieeffizienter Neubauten einen senkenden Einfluss auf die Jahresvollbenutzungsstunden, 1.700 h/a werden für die neu installierten Wärmepumpen im Jahr 2030 prognostiziert [9.75] S. 27.

527 **Wärmep. - Anteil Anlagen mit Luftkopplung** % 50,0 [528] **72,0** [530]

528 - STATUS-Ansatz: Nach einer Auswertung der Absatzzahlen für Heizungswärmepumpen in Deutschland von 1993 bis 2013 gemäß Bundesverband Wärmepumpe [9.75], S. 41, hatten die luftgekoppelten Anlagen im Feldbestand Deutschlands 2013 einen Anteil von 45,7%. Bei einem anhaltenden Trend zu Luftgekoppelten Anlagen wird für 2016 ein Anteil von 50 % geschätzt. Der übrige Anteil besteht aus Anlagen mit Erdreichkopplung (Erdkollektoren, Erdsonden) und Wasserkopplung (Brunnen), die von der Jahresarbeitszahl höher liegen und daher gesondert zu betrachten sind.

530 - ZIEL-Ansatz: Nach Untersuchungen des Bundesverbandes Wärmepumpe [9.75], S. 41, wird ein künftig zunehmender Anteil luftgekoppelter Heizungwärmepumpen trotz geringerer Jahresarbeitszahlen prognostiziert, begründet durch die einfachere Installation und geringeren Kosten (keine Erdsonden bzw. Brunnen erforderlich). Für den betrachteten Prognosezeitraum 2015 bis 2030 wird ein Anteil von 72,0% angegeben, der als Zielwert für Niedersachsen übernommen wird.

532 **Wärmep. Luftkopplung - Jahresarbeitszahl** 2,8 [534] **3,3** [536]

533 Die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpen-Anlage gibt an, das wievielfache der eingesetzten Antriebsenergie als Nutzwärme bereit gestellt wird. Die Differenz zum Energieeinsatz = 1 (Antriebsenergie für die Wärmepumpe) resultiert aus gewonnener Umgebungswärme (aus dem Erdreich, dem Grundwasser oder der Umgebungsluft).

534 - STATUS-Ansatz: Nach einer Auswertung der Jahresarbeitszahlen der in Deutschland von 1993 bis 2013 abgesetzten Heizungswärmepumpen gemäß Bundesverband Wärmepumpe [9.75], S. 32, kommen die luftgekoppelten Anlagen im Feldbestand auf eine durchschnittliche Jahresarbeitszahl (gewichtetes Mittel) von 2,8.

536 *- ZIEL-Ansatz: 3,3 gemäß [537] erscheint aus Gutachtersicht erreichbar, die Branchenangabe gemäß [538] ist offensichtlich zu optimistisch.*

537 *In einer Untersuchung des Fraunhofer ISE von Wärmepumpen im realen Betrieb [9.108], S. 30, Bild 19, übertrafen nur zwei von 18 untersuchten luftgekoppelten Anlagen die Jahresarbeitszahl 3,3, während der Bestwert nur ganz knapp bei 3,4 lag. Viel mehr als die heutigen Spitzenwerte dürften im Jahr 2050 im Rahmen der Lernkurve im Durchschnitt über alle Anlagen wohl kaum erreicht werden können.*

538 *Nach Angaben des Bundesverbandes Wärmepumpe [9.75], S. 32, kann durch technische Weiterentwicklungen und niedrigere Vorlauftemperaturen besser gedämmter Gebäude mit einer Erhöhung der durchschnittlichen Jahresarbeitszahl für luftgekoppelte Anlagen auf einen im Jahr 2020 erreichbaren Endwert von 3,8 gerechnet werden.*

540 **Wärmep. Erdreich-/Wasserk. - Jahresarbeitszahl** 3,4 [542] **4,4** [544]

541 Begriffsbestimmung siehe [533].

542 - STATUS-Ansatz: Nach einer Auswertung der Jahresarbeitszahlen der in Deutschland von 1993 bis 2013 abgesetzten Heizungswärmepumpen gemäß Bundesverband Wärmepumpe [9.75], S. 32, kommen die Erdreich- und Wassergekoppelten Anlagen im Feldbestand auf eine durchschnittliche Jahresarbeitszahl (gewichtetes Mittel)

544 - ZIEL-Ansatz: Nach Angaben des Bundesverbandes Wärmepumpe [9.75], S. 32, ist durch technische Weiterentwicklungen und niedrigere Vorlauftemperaturen besser gedämmter Gebäude mit einer Erhöhung der durchschnittlichen Jahresarbeitszahl für Erdreich- und Wassergekoppelte Anlagen (letztere nur geringfügig höher, hier zusammengefasst) zu rechnen. Hier wird der für das Jahr 2030 prognostizierte Wert von 4,4 als Zielwert für Niedersachsen angenommen.

546 **Wärmeertrag Erdreich/Grundwasser (oberflächennah)** % 1.000 [547] **1.000** [549]

547 - STATUS-Ansatz: Für Erdreichgekoppelte Wärmepumpenanlagen wird in [9.144], S. 410, ein durchschnittliches Wärmeentzugspotenzial von jährlich 360 MJ/qm angegeben, entsprechend 100 kWh/qm bzw. 1.000 MWh/ha. Dieser Durchschnittswert dient im Szenario zur Abschätzung der für Wärmeentzug beanspruchten Fläche, um Überbeanspruchungen zu vermeiden. Gemäß [9.144], S. 452 können etwa 13% der Siedlungsflächen als geeignete Potenzialflächen für oberflächennahe Erdwärme angesehen werden.

549 - ZIEL-Ansatz: Status-Wert wird übernommen, da der Wärmeertrag von der Bodenbeschaffenheit abhängt, die als konstant vorausgesetzt werden kann.

551 **Tiefen-Geothermie**

553 **Tiefen-Geoth. - Netzanschlussleistung (elektrisch)** MW 39 [554] **0** [556]

554 - STATUS-Ansatz: Gemäß BMWi [9.69] S. 12 im Jahr 2016 elektrische Leistung von 39 MW.

556 - ZIEL-Ansatz: Wegen der mangelnden Aussicht auf nennenswerte Netto-Stromerzeugung (abzüglich des Pumpen- und Lüfterstrombedarfs, nach Auskunft Geschäftsführung Geothermiekraftwerk Unterhaching vom 11.08.2017 an H.-H. Schmdit-Kanefendt reicht die Stromerzeugung im Sommer gerade aus, um den ganzjährigen Pumpenstrom zu decken) wird hier eine Netzeinspeisung von rechnerisch Null vorgesehen.

558 **Tiefen-Geoth. - Vollbetriebsstunden (Stromerzeug.)** MWh/ha/a 4.154 [559] **4.154** [561]

559 - STATUS-Ansatz: 4.154 h/a resultieren aus einer Stromerzeugung von 162 GWh/a gemäß [9.69] S. 10 und einer installierten Leistung von 39 MW [550].

561 - ZIEL-Ansatz: Unter den gegebenen Umständen (Beschränkung auf Verstromung von sommerlichen Wärmeüberschüssen) ist eine nennenswerte Erhöhung nicht zu erwarten.

563 **Tiefen-Geoth. - Nutzungsgrad (elektrisch)** % 0,0 [564] **0,0** [566]

564 - STATUS-Ansatz: Aus den in [556] angeführten gründen liegt der elektrische Nutzungsgrad der Gesamtanlage etwa bei Null.

566 - ZIEL-Ansatz: Unter den gegebenen Umständen (Beschränkung auf Verstromung von sommerlichen Wärmeüberschüssen) ist ein nennenswerter Nutzungsgrad nicht zu erwarten.

568 **Techn. Aquifer-Pot. Norddeutsches Becken** TWh 6.296 [569] (n.r.)

569 Gemäß TAB [9.226], S. 35, liegt das in den Heißwasser-Aquiferen des norddeutschen Beckens gespeicherte technische Potenzial an Elektrischer Energie in der Größe von 6,8 EJ . Da auf Niedersachsen etwa ein Drittel des norddeutschen Beckens entfällt, wird dies hier vereinfachend auch für die Aquifere angenommen, dies entspricht 6.296 TWh . Mit einem Verstromungs-Wirkungsgrad von 10% [566] zurück gerechnet liegt das Heißwasser-Energiepotenzial bei 6.296 TWh . Diese Angabe dient im Sinne der Nachhaltigkeit zu der Abschätzung, nach welcher Betriebszeit das Potenzial erschöpft wäre (siehe dazu [570] und [571]).

570 "Unter Nachhaltigkeitsaspekten sollte dieses (geothermische) technische Potenzial – auch vor dem Hintergrund seiner gewaltigen Dimensionen – nur innerhalb eines sehr langen Zeitraums erschlossen werden. Denn eine Regeneration der geothermischen Ressourcen infolge des natürlichen Wärmestroms ist über kürzere Zeiträume nicht möglich. Gründe hierfür liegen u. a. in der relativ geringen Eigenwärmeerzeugung des tieferen Untergrunds, in einem relativ kleinen Wärmestrom aus dem Erdinnern (im Bereich von rund 65 mW/m2) und der im Allgemeinen vergleichsweise schlechten Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen. Eine einmal vollständig abgekühlte Gesteinformation benötigt einige Jahrhunderte oder länger, um wieder die ursprüngliche Temperatur zu erreichen." [9.226] S. 51.

571 "...bei der Ermittlung des technischen Angebotspotenzials (...) wird davon ausgegangen, dass das o.g. technische Potenzial über einen Zeitraum von 1.000 Jahren sukzessive erschlossen werden kann." [9.226] S. 51.

573 **Tiefen-Geoth. - Technisches Gesamtpot.Nds.** TWh 61.111 [574] (n.r.)

574 Gemäß TAB [9.226], S. 39, liegt das im Kristallinen Gestein des norddeutschen Beckens gespeicherte technische Potenzial an Elektrischer Energie in der Größe von 66 EJ . Da auf Niedersachsen etwa ein Drittel des norddeutschen Beckens entfällt, wird dies hier vereinfachend auch für das Potenzial angenommen, dies entspricht 6.111 TWh . Mit einem Verstromungs-Wirkungsgrad von 10% [571] zurück gerechnet liegt das Heißwasser-Energiepotenzial bei 61.111 TWh . Diese Angabe dient im Sinne der Nachhaltigkeit zu der Abschätzung, nach welcher Betriebszeit das Potenzial erschöpft wäre (siehe dazu [575]).

575 3.000.000 TWh Wärmepotenzial aus Geothermie sind in Deutschland über einen Zeitraum von 1000 Jahren zur Verstromung nutzbar, resultiernd aus einer Abschätzung des TAB [9.226], S. 55: 300.000 TWh jährliches technisches Angebotspotenzial geothermischer Stromerzeugung, nutzbar mit einem Verstromungs-Wirkungsgrad von 10% [566]. Im Gestein gespeicherte Wärme macht mit 95% den größten Anteil aus.

577 **Tiefen-Geoth. - eff.Nutzungsgrad KWK-Abwärme** % 0,0 [578] **0,0** [580]

578 - STATUS-Ansatz: (siehe [554])

580 - ZIEL-Ansatz: Wegen des geringen Temperaturniveaus der geothermischen Wärmequellen (in Unterhaching z.B. 122°C) liegen die Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung niedrig (brutto etwa 10-13%). Aus dem gleichen Grund ist die Abwärmenutzung aus der Verstromung (Kraft-Wärme-Kopplung) physikalisch nicht möglich, der Nutzungsgrad wird hier daher mit Null angesetzt. In realen Projekten mit Wärmelieferung (z.B. Geothermiekraftwerk Unterhaching) handelt es sich um parallele Zweige von Stromerzeugung und Wärmelieferung.

582 **Wasserstofferzeugung (als Brennstoff, für Kraftstoff- und Grundstoffsynthese)**

584 **Grundstoffe für die Chemieindustrie** kWh/a/Pers. 3.367 [585] **1.684** [587]

585 - STATUS-Ansatz: Der Bedarf an Kohlenwasserstoffen als Grundstoff für die Chemieindustrie in Höhe von 3.367 kWh jährlich pro Person [7.61] wird heute ausschließlich aus fossilen Quellen gedeckt.

587 - ZIEL-Ansatz: Die Methansynthese mit elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff aus Wind- und Solarstrom bietet die Möglichkeit zur Substitution, ohne die eng begrenzten Potenziale an stofflich nutzbarer Biomasse weiter zu belasten. Dieser Ansatz geht von einer Reduzierung des Grundstoffbedarfs pro Kopf auf des heutigen Wertes aus: 0.000. Dabei wird davon ausgegangen, dass zum einen die Einmal-Artikel und aufwändige Kunststoffverpackungen reduziert und zum anderen die Kunststoff-Recyclingquote erhöht wird.

589 **Wasserelektrolyse - Nutzungsgrad** % 54,9 [590] **64,0** [592]

590 - STATUS-Ansatz: 54,9resultieren aus einem brennwertbezogenen Wirkungsgrad von 64,9 % inklusive Einspeisung bei 80 bar gemäß DVGW für 2020 [9.152] S. 9 und einem Verhältnis von Brennwert Hs zu Heizwert Hi bei Wasserstoff von 1,182.

592 - ZIEL-Ansatz: Aus einem breiten Spektrum von Einschätzungen wird hier der Wert aus der der Metastudie 2015 verwendet [593].

593 64% Wirkungsgrad bezogen auf den Heizwert Hi resultieren aus einem Brennwertbezogenen Wirkungsgrad von 75,2% gemäß NOW 2030 [9.152], S. 9, und einem Verhältnis von Brennwert Hs zu Heizwert Hi bei Wasserstoff von 1,182. Diese Anpassung ist zur Gewährleistung der Konsistenz notwendig, da sämtliche übrigen Brennstoffe mit ihrem Heizwert Hi in die Kalkulation eingehen (dieser Sachverhalt blieb in den meisten Studien bisher unberücksichtigt).

595 **Wasserstoff als Brennstoff für Prozesswärme** GWh/a 0 [596] **0** [598]

596 - STATUS-Ansatz: Die elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff aus Wind- und Solarstrom ist eine Zukunftsoption zur Substitution der heute verwendeten fossilen Brennstoffe.

598 - ZIEL-Ansatz: Auf die Verwendung von Wind-/Solarwasserstoff für Prozesswärme wurde zugunsten der Mobilen Anwendungen [600] und der Grundstofferzeugung [611] verzichtet. Ein großer Teil der Prozesswärmeanwendungen wird sich auf Strom umstellen lassen, womit Wandlungsverluste vermieden werden. Für die auf Brennstoffe angewiesenen Prozesse sind die festen Biobrennstoffe vorgesehen [286][320]. Eine gewisse Optimierung wäre durch bivalente Prozessöfen möglich, die in Stromüberschussphasen mit Strom und in Mangelphasen mit Wasserstoff betrieben werden, dadurch entfallen die Rückverstromungsverluste.

600	**Kraftstoff (flüssig) aus Wasserstoff für MA**	GWh/a	0	[601]	**73.899**	[603]

601 - STATUS-Ansatz: Die elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff aus Wind- und Solarstrom ist eine Zukunftsoption zur Substitution der heute verwendeten fossilen Kraftstoffe.

603 - ZIEL-Ansatz: (Bei Abweichungen gilt Abgleichergebnis in _S.xlsx) Die Substitution der fossilen Kraftstoffe im Verkehrsbereich und bei den übrigen mobilen Anwendungen stellt eine besondere Herausforderung dar. Für den nicht durch Elektrifizierung oder Biokraftstoffe abzudeckenden Restbedarf können synthetische Kraftstoffe auf Basis von Wind-/Solarwasserstoff dienen.

605	**Kraftstoffsynthese - Nutzungsgrad**	%	0,0	[606]	**63,0**	[608]

606 - STATUS-Ansatz: Nicht relevant, siehe [601].

608 - ZIEL-Ansatz: Der Nutzungsgrad ist stark abhängig vom Mix der verschiedenen Kraftstoffe: Wasserstoff kann mit einem Nutzungsgrad von nahe 100 % bereitgestellt werden, für die Wasserstoff-Methanisierung zu tankbarem Autogas ist mit einem Nutzungsgrad von 80% [614] zu rechnen. Hier wird die Erzeugung von flüssigen Kraftstoffen Kerosin, Benzin und Diesel angenommen, die beispielsweise im Luftverkehr ohne Alternative sind. Der Nutzungsgrad der Kraftstoffgewinnung aus Wasserstoff liegt gemäß [609] bei 63 %.

609 In einer Studie von LBST für den FVV [9.102], 3-62, werden für die Herstellung von Benzin, Kerosin und Diesel auf der Grundlage von Wasserstoff aus der elektrischen Wasserelektrolyse über den Methanopfad für den Produktmix folgende Gesamtwirkungsgrade angegeben: 47 % wenn CO2 aus Biogas verwendet werden kann, 41 % wenn CO2 aus der Verbrennung von Biomasse verwendet werden kann und 36 % wenn das CO2 aus der Luft gewonnen werden muss. Hier wird das Mittel über die drei Fälle angenommen, aus dem Wirkungsgrad von 41% und dem in der Studie angenommenen Elektrolyse-Wirkungsgrad von 65% resultiert ein Synthese-Wirkungsgrad von 63% .

611	**Wasserstoff-Methanisierung - Nutzungsgrad**	%	0,0	[612]	**80,0**	[614]

612 - STATUS-Ansatz: Nicht relevant, siehe [585].

614 - ZIEL-Ansatz: Aus einem breiten Spektrum von Einschätzungen wird hier ein optimistischer Wert aus der Leitstudie 2011 verwendet [615].

615 Auf einen erreichbaren Wirkungsgrad von etwa 80 % für die Methanisierung von Wasserstoff kann aus den Angaben in [9.57], S. 39 geschlossen werden.

617	**Wasserstoff tankfähig- Nutzungsgrad**	%	0,0	[618]	**80,0**	[620]

618 - STATUS-Ansatz: Nicht relevant, siehe [585].

620 - ZIEL-Ansatz: Abschätzung des Nutzungsgrades für die Druckgasspeicherung und Betankung von Fahrzeugen mit 700 bar aufgrund [621].

621 "Somit ergeben sich folgende energetische Wirkungsgrade bei Speicherung, Vertrieb und Betankung von Wasserstoff ohne temp. Verluste bei Tankstellenspeicherung:
Druckgasspeicherung Komprimierung 12%, Transport 6%, Umfüllen LKW-Tank zu Tankstellentank 2%, Umfüllen Tankstellen zu PKW-Tank 2% = 79,4% Wirkungsgrad." Quelle: [9.190], Kap. 2.

623 Langzeitspeicherung Strom

625	**Langzeitspeicherung - Stromaufnahme**	GWh/a	0	[630]	**278.381**	[632]

626 Mit steigenden Anteilen von Wind- und Solarstrom werden zum Ausgleich von Mangelphasen Stromspeicher erforderlich, die in Phasen mit Stromüberschuss entsprechende Energiemengen aufnehmen können. Neben dem Ausgleich kurzzeitiger Schwankungen im Sekunden-, Minuten- und Stundenbereich (siehe [670]) wird eine Langzeitspeicherung über Tage, Wochen und Monate hinweg erforderlich.

627 Zur Schaffung der großen dafür erforderlichen Speicherkapazitäten kommt aus heutiger Sicht in Deutschland nur die stoffliche Speicherung in Form von Gas in Frage. Dazu wird überschüssiger Strom durch Wasser-Elektrolyse in Wasserstoff gewandelt, unter Druck in unterirdische Kavernen und Porenspeicher gepresst (in gleicher Weise wie heute Erdgas und Erdöl) und in Mangelphasen in Blockheizkraftwerken (durch Verbrennungsmotoren oder Brennstoffzellen) wieder rückverstromt.

628 Die stoffliche Speicherung von Strom ist vor allem durch Elektrolyse und Rückverstromung mit hohen Wandlungsverlusten verbunden, die durch entsprechend erhöhte Wind- und Solarstromeinspeisung ausgeglichen werden müssen. Im Interesse einer Minimierung der Wandlungsverluste wird auf eine zusätzliche Methanisierung des Wasserstoffs verzichtet und dafür ein wegen unterschiedlicher Energiedichte 3,3-faches Speichervolumen in Kauf genommen. 622

629 Mit Hilfe einer Simulation wurden aufgrund der Szenario-Ansätze die täglichen Speicherflüsse und daraus Nutzungsgrad und die mindestens erforderliche Speicherkapazität ermittelt, wobei der Nutzungsgrad im Szenario kalkulatiorisch berücksichtigt wird. Simulationsmodell, Parameter und Jahresgang dieser Simulation siehe Szenario-Dokumentation Abschnitt [WS]. 623

630 - STATUS-Ansatz: Die stark schwankende Einspeisung von Wind- und Solarstrom kann bislang vollständig durch entsprechende Regelung der Pumpspeicher- und fossilen Kraftwerke ausgeglichen werden. Die Speicherung von Stromüberschüssen zum Ausgleich von Mangelphasen über Tage und Wochen hinweg ist daher noch nicht erforderlich geworden. 624

632 - ZIEL-Ansatz: 278.381 GWh an Überschuss-Strom müssen der Wasser-Elektrolyse zur Stromspeicherung während eines Jahres zugeführt werden, um ausreichend Gas zur Rückverstromung in Mangelphasen bereit stellen zu können (siehe Szenario-Dokumentation Abschnitt [WS]. 626

634 **Stromspeicherung gesamt - Nutzungsgrad** % 0,0 [635] **37,7** [637] 628

635 - STATUS-Ansatz: Lanzeitstromspeicherung bislang noch nicht relevant [630]. 629

637 - ZIEL-Ansatz: Ein Gesamt-Jahresnutzungsgrad der Strom-Langzeitspeicherung von 37,7 % als Verhältnis von der rückverstromten zu der der Elektrolyse zugeführten Strommenge resultiert aus der Simulation (siehe Szenario-Dokumentation Abschnitt [WS]) mit den folgenden Parametern [638]...[643]: 631

638 Die Nennleistung der Wasser-Elektrolyse entspricht 100 % des durchschnittlichen Strom-Endverbrauchs (siehe Szenario-Dokumentation Abschnitt [WS]). An Tagen mit Erzeugungsspitzen, die über den Verbrauch plus Aufnahmefähigkeit der Elektrolyse hinausgehen, erfolgt eine entsprechende Abregelung des Wind- bzw. PV-Anlagenparks [654]. 632

639 Als Nutzungsgrad der Wasser-Elektrolyse wurde 65,4 % gewählt (siehe Szenario-Dokumentation Abschnitt [WS]). Aus einem breiten Spektrum von Einschätzungen wird hier ein optimistischer Wert aus der Leitstudie 2011 verwendet [593]. 633

640 *Als Verlust der Wasserstoffspeicher wurde in Anlehnung an [9.252] 0,01 % der aktuellen Ladung pro Tag angenommen. (Im Niedersachsen-Szenario wurde mit 0,1%/d der zehnfache Wert angenommen, siehe Szenario-Dokumentation Abschnitt [WS]. Anderen Einschätzungen lassen darauf schließen, dass die Verluste wesentlich niedrigerliegen).* 634

641 58,5% Nutzungsgrad für die Rückverstromung des Wasserstoffs in Mangelphasen resultiert aus der Annahme, dass sie jeweils zur Hälfte in Blockheizkraftwerken mit Wärmerückgewinnung und einem elektrischen Wirkungsgrad von 52% [642] erfolgt, zur anderen Hälfte in Spitzenlastkraftwerken ohne Wärmenutzung mit 65% [642]. 635

642 Wasserstoff-Rückverstromungs-Wirkungsgrade gemäß Leitstudie [9.57], S. 39: 52% elektrisch bei Blockheizkraftwerken mit 40% nutzbarer Abwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung als eine Variante, 65% elektrisch bei Spitzenlastkraftwerken zur kurzfristigen Leistungsbereitstellung ohne Wärmenutzung als andere Variante. 636

644 **Stromspeicher. Abwärme KWK - Nutzanteil eff.** % 0,0 [645] **12,7** [647] 638

645 - STATUS-Ansatz: Lanzeitstromspeicherung bislang noch nicht relevant [630]. 639

647 - ZIEL-Ansatz: 12,7% tatsächlich genutzte Abwärme aus der Rückverstromung von Wasserstoff bezogen auf den aufgenommenen Elektrolysestrom [632] resultieren aus der Annahme, dass die Hälfte der Rückverstromung in Blockheizkraftwerken (Kraft-Wärme-Kopplung) erfolgt [641] und das gesamte Abwärmepotenzial (BHKW-Wirkungsgrad thermisch 40% [642]) zeitlich und örtlich vollständig (effektiv) als Gebäudewärme verwertet werden kann. 641

649 **Stromspeicherung - Gasspeicherkapazität min.** GWh 0 [650] **129.261** [652] 643

650 - STATUS-Ansatz: Lanzeitstromspeicherung bislang noch nicht relevant [630]. 644

652 - ZIEL-Ansatz: Die Strom-Langzeitspeicherung erfordert eine Mindestspeicherkapazität für Wasserstoff von 129.261 GWh, das resultiert aus der Simulation (siehe Szenario-Dokumentation Abschnitt [WS]). 646

654 **Abregelung von Wind- und Solarstrom** GWh/a 0 [655] **10.047** [657] 648

655 - STATUS-Ansatz: Lanzeitstromspeicherung bislang noch nicht relevant [630]. Hier nicht bewertet wird die Ausfallarbeit, die bereits im Jahr 2013 durch Abregelung vor allem bei Windenergieanlagen im Rahmen des Einspeisemanagements entstanden ist (Deutschlandweit 555 GWh, größtenteils in den nördlichen Bundesländern). 649

657 - ZIEL-Ansatz: Aufgrund der begrenzten Kapazität der Wasser-Elektrolyse zur Strom-Langzeitspeicherung gemäß [638] kann an Tagen mit besonders hohem Wind- bzw. Solarstromangebot nicht die gesamte Strommenge verwertet werden, aus der Abregelung des Anlagenparks entsteht eine Ausfallarbeit von 10.047 GWh, das resultiert aus der Simulation (siehe Szenario-Dokumentation Abschnitt [WS]).

659 **Stromübertragung**

661 **Stromeinfuhr (Erneuerbar) in Solidarbereich** GWh/a 0 [662] **0** [664]

662 - STATUS-Ansatz: Die Einfuhr von Strom aus erneuerbaren Quellen von außerhalb Deutschlands ist zurzeit nicht relevant. Sie wird als Zukunftsoption diskutiert, beispielsweise aus Solarthermischen Kraftwerken in der Sahara.

664 - ZIEL-Ansatz: Die Einfuhr von Strom aus erneuerbaren Quellen von außerhalb Deutschlands wird hier nicht vorgesehen. Einer möglichen Entlastung der eigenen energetischen Flächenbeanspruchung stehen andere Aspekte entgegen, beispiesweise steigende Risiken für die Versorgungssicherheit oder der durch wirksamen Klimaschutz stark wachsende Bedarf an erneuerbaren Energien weltweit.

666 **Übertragungsverluste Stromnetz** % 5,2 [667] **15,2** [669]

667 - STATUS-Ansatz: Gemäß Energiebilanz Deutschland für das Jahr 2012 [9.31] (Aufbereitung siehe [8.22]) kommen zum Endverbrauch im Stromnetz 5,5% Übertragungsverluste im Stromnetz. Bezogen auf die Einspeisung ins Stromnetz entspricht das 5,2% Übertragungsverlusten, die hier auch für Niedersachsen angenommen werden.

669 - ZIEL-Ansatz: Die künftige Netzstruktur und deren Eigenschaften sind aus heutiger Sicht schwer einschätzbar. Es wird hier davon ausgegangen, dass die spezifischen Netzübertragungsverluste keinen gravierenden Änderungen unterworfen sein werden, der Statuswert von 5,2% wird beibehalten. Zusätzlich werden hier 10% Verluste aus der künftig erforderlichen Kurzzeitspeicherung und Netzstabilisierung gemäß [670] berücksichtigt.

670 Auf 10% relativ zur Einspeisung ins Stromnetz werden die Verluste durch Kurzzeitspeicherung von Strom zum Schwankungsausgleich jeweils innerhalb eines Tages und zur Netzstabilisierung nach einer eigenen überschlägigen Abschätzung veranschlagt. Dabei wird unterstellt, dass gut 30 % des Jahresstromverbrauchs zum Mangelausgleich aus Kurzzeitspeichern (Pumpspeicher-Kraftwerke, Batterien, adiabate Druckluftspeicherkraftwerke usw.) zugeführt werden müssen und diese einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 75 % aufweisen.

672 **Wirtschaftliche Entwicklung**

674 **Betrachteter Zeitraum** Kal.-Jahr 2016 [677] **2050** [679]

675 Die jährliche Veränderungsrate für die wirtschaftliche Entwicklung [681] ist als Durchschnittswert für den Zeitraum vom Statusjahr bis zum Zieljahr angegeben:

677 - STATUS-Ansatz: Gemäß Szenario-Rahmen [27].

679 - ZIEL-Ansatz: Gemäß Szenario-Rahmen [27].

681 **Durchschnittliche Jahresrate BIP/Kopf** % **0,00** [682]

682 Da es in einem begrenzten System kein unbegrenztes Wachstum geben kann, ist die Überwindung materiellen Wachstums unausweichlich (siehe [883]). Es stellt sich die Frage, auf welchem Niveau die Wirtschaftsleistung stabilisiert werden sollte. Hier wird von einer langfristigen Stabilisierung auf heutigem Niveau ausgegangen, was einem durchschnittlichen Nullwachstum entspricht.
Zur Information: Der Ansatz im Niedersachsen-Szenario orientierte sich dagegen an drei Studien zur Energiezukunft Deutschlands. Für das Bruttoinlandsprodukt bzw. die Bruttowertschöpfung werden dort folgende durchschnittliche Wachstumsraten angenommen: 0,85 %/a in der BMU-Leitstudie 2011 [684], 0,7 %/a im WWF-Szenario [685] und ebenfalls 0,7 %/a in der UBA-Studie Treibhausgasneutrales Deutschland 2050 [686]. Im Niedersachsen-Szenario wurde für das absolute Wachstum eine durchschnittliche Rate von 0,7%/a angenomen. Bei der angenommenen Bevölkerungsdegression [37] entsprach das einer durchschnittlichen pro-Kopf-Wachstumsrate von 1,04 %/a.

683 HINWEIS im Nds-Szenario: Der Nachweis einer umweltverträglichen und versorgungssicheren Energieversorgung mit 100% Erneuerbaren Energien (Zielprämissen) unter Fortschreibung des Wirtschaftswachstums wird mit diesem Szenario für das Jahr 2050 erbracht. Dazu wurden die vertretbaren bzw. zumutbaren Flächenpotenziale für Energiegewinnung und die Effizienzpotenziale weitgehend ausgeschöpft, ein über 2050 hinaus weiter steigender Energiebedarf wäre unter Einhaltung der Zielprämissen von der Fläche der betrachteten Region nicht zu decken. Voraussetzung für weiteres Wirtschaftswachstum ist somit entweder eine vollständige Entkopplung des Energieverbrauchs oder der Import regenerativer Energien vom Weltmarkt, der prinzipiell allerdings ebenfalls begrenzt ist.

684 BMU Leitstudie 2011 [9.57], S. 2: "In den Szenarien wächst das Bruttoinlandsprodukt (ausgehend vom Niveau 2010) bis zum Jahr 2050 real um über 40%." Das ensptricht einer Wachstumsrate von 0,85%/a.

685 WWF Modell Deutschland [9.252], S. 38: "Den Szenarien liegt ein durchschnittliches reales Wirtschaftswachstum von 0,7% p.a. zu Grunde."

686 UBA Treibhausgasneutrales Deutschland 2050 [9.231], S. 29: Geht im Szeario davon aus, "...dass Deutschland im Jahre 2050 ein exportierendes Industrieland mit einem bis dahin durchschnittlichen jährlichen Wirtschaftswachstum von 0,7 % des Bruttoinlandsprodukts ist."

688 **BIP pro Kopf** € 33.569 [689] (resultiert) [691]

689 - STATUS-Ansatz: Wirtschaftsleistung Deutschlands im Jahr 2012 als Bruttoinlandsprodukt pro Kopf gemäß STATISTA [9.211].

691 - ZIEL-Ansatz: Nicht hier im Datenmodell erforderlich. Resultiert aus dem Statusansatz [689] und der durchschnittlichen Jahresrate für die Veränderung des Bruttoinlandsproduktes pro Kopf [681] im Betrachtungszeitraum [674]. Berechnung erfolgt in der Szenario-Tabelle nach der Zinseszins-Formel.

693 **Anteil Dienstleistungsbereiche an BIP/Kopf** % 68,6 [694] **68,6** [696]

694 - STATUS-Ansatz: Gemäß [9.208] für Deutschland im Jahr 2014. Dient der Abgrenzung der Dienstleistungsbereiche von produzierendem Gewerbe (Industrie) einschließlich Baugewerbe (produzierender Teil im Sektor 'Gewerbe/Handel/Dienstleistungen, wie er in der Energiebilanz gefasst ist) zur Berechnung mit unterschiedlichen wirtschaftlichen Entwicklungen.

696 - ZIEL-Ansatz: Dient der Abschätzung der wirtschaftlichen Entwicklung und des daraus resultierenden Energiebedarfe differenziert für den Industrie- und Dienstleistungsbereich. Er ist orientiert an folgender Überlegung: Einerseits war in der Vergangenheit eine Verschiebung vom Produzierenden bzw. verarbeitenden Gewerbe zu Handel/Dienstleistungen zu verzeichnen. Andererseits ist davon auszugehen, dass dieser Trend in Deutschland als Industrie- und Exportnation sich nicht beliebig fortsetzt. Hier wird von einem gleichbleibenden Anteil ausgegangen.

698 **Kraft, Licht, Inform./Komm., Kälte-Endenergieverbr. (KLIK)**

700 **Anteil Haushalte an KLIK** % 17,0 [701] **17,0** [703]

701 - STATUS-Ansatz: Endenergieverbrauch der elektrischen Geräte in Haushalten für Kraft=Mechanische Energie, Licht=Beleuchtung, Informations-/Kommunikations-Kommunikations-Technolgien, Kälte (kurz 'KLIK', Geräte für Gebäudewärme- und Prozesswärme-Bereitstellung sind unter GW bzw. PW gefasst und bleiben hier ausgespart). Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28] für das Jahr 2012, Aufbereitung siehe [7.90].

703 - ZIEL-Ansatz: Dient als Berechnungsgrundlage für das (fiktive) künftige Bedarfsniveau im Anwendungsbereich 'Kraft, Licht, Informations-/Kommunikations-Technolgien, Kälte' im Sektor Haushalte, das sich ohne Volumen-, Effizienz-und Energiemix-Änderungen einstellen würde. Der Status-Ansatz wird methodisch bedingt unverändert übernommen.

705 **Zieleinfluss Endgeräte-Effizienz Haushalte auf KLIK** % 100,0 [706] **73,0** [708]

706 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status der Energieintensität (Strombedarf pro erbrachte Dienstleistung) der elektrischen Geräte in Haushalten für Kraft=Mechanische Energie, Licht=Beleuchtung, Informations-/Kommunikations-Kommunikations-Technolgien, Kälte (kurz 'KLIK', Geräte für Gebäudewärme- und Prozesswärme-Bereitstellung sind unter GW bzw. PW gefasst und bleiben hier ausgespart). Dient als Referenz für den im Ziel durch Effizienzsteigerung gesenkten Energiebedarf.

708 - ZIEL-Ansatz: Orientiert an den Ergebnissen einer Studie des VDE [9.237], aufbereitet in [9.193], Absatz Ba72.

709 Die pessimistischere Aussage in [710] blieb hier unberücksichtigt.

710 Nach den Aussagen eines Forschungsberichtes an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie [9.181], S. 54 kann das Effizienz-Potenzial als marginal eingeschätzt werden: Wäschetrockner und Waschmaschinen werden auf 10% Bedarfsminderung (Wirtschaftliches Potenzial 2007-2016) geschätzt, Kochen und Backen bleiben, vermutlich wegen sehr geringer Potenziale, unbetrachtet.

712 **Anteil Handel/Dienstleistungen an KLIK** % 29,6 [713] **29,6** [715]

713 - STATUS-Ansatz: Endenergieverbrauch der elektrischen Geräte im Sektor Handel/Dienstleistungen (ohne produzierendes Gewerbe) für Licht=Beleuchtung, Informations-/Kommunikations-Technolgien, Kälte (kurz 'KLIK', Geräte für Gebäudewärme-Bereitstellung sind unter GW gefasst und bleiben hier ausgespart). Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28] für das Jahr 2012, Aufbereitung siehe [7.91].

715 - ZIEL-Ansatz: Dient als Berechnungsgrundlage für das (fiktive) künftige Bedarfsniveau im Anwendungsbereich Kraft/Licht/Informations-u.Kommunikationstechnologien/Kälte im Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen, das sich ohne Volumen-, Effizienz-und Energiemix-Änderungen einstellen würde. Der Status-Ansatz wird methodisch bedingt unverändert übernommen.

717 **Zieleinfl.Handels-/Dienstleist.-Vol./Pers.auf KLIK** % 100,0 [718] **100,0** [720]

718 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status des spezifischen Stromverbrauchs für Kraft, Licht, Informations- und Kommunikaionstechnologien, Kälte im Durchschnitt über alle Prozesse im Dienstleistungsbereich (kurz 'KLIK', Sektor 'Gewerbe/Handel/Dienstleistungen' ohne den gewerblichen Anteil). Dient als Referenz für den im Ziel durch wirtschaftliche Entwicklung veränderten Energiebedarf.

720 - ZIEL-Ansatz: Es wird angenommen, dass die wirtschaftliche Entwicklung im Handels-/Dienstleistungssektor sich proportional auf den Stromverbrauch in diesem Bereich auswirkt.

722 **Zieleinfluss Prozess-Effizienz Dienstleist. auf KLIK** % 100,0 [723] **73,0** [725]

723 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status des spezifischen Stromverbrauchs für Kraft, Licht, Informations- und Kommunikaionstechnologien, Kälte im Durchschnitt über alle Prozesse im Dienstleistungsbereich (kurz 'KLIK', Sektor 'Gewerbe/Handel/Dienstleistungen' ohne den gewerblichen Anteil). Dient als Referenz für den im Ziel durch Effizienzsteigerung gesenkten Energiebedarf bei gleichem Leistungsumfang.

725 - ZIEL-Ansatz: Orientiert an den Ergebnissen einer Studie des VDE [9.237], aufbereitet in [9.193], Absatz Ba72.

726

728 **Anteil Industrie + produzierendes Gewerbe an KLIK** % 53,4 [729] **53,4** [731]

729 - STATUS-Ansatz: Endenergieverbrauch der elektrischen Geräte im Sektor Industrie plus Gewerbeanteil im Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen für Kraft=Mechanische Energie, Licht=Beleuchtung, Informations-/Kommunikations-Technolgien, Kälte (kurz 'KLIK', Geräte für Gebäudewärme- und Prozesswärme-Bereitstellung sind unter GW bzw. PW gefasst und bleiben hier ausgespart). Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28] für das Jahr 2012, Aufbereitung siehe [7.92].

731 - ZIEL-Ansatz: Dient als Berechnungsgrundlage für das (fiktive) künftige Bedarfsniveau im Anwendungsbereich Prozesswärme im Sektor Industrie, das sich ohne Volumen-, Effizienz-und Energiemix-Änderungen einstellen würde. Der Status-Ansatz wird methodisch bedingt unverändert übernommen.

733 **Zieleinfl.Materialdurchsatz/Pers.auf KLIK** % 100,0 [734] **100,0** [736]

734 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status des spezifischen Stromverbrauchs für Kraft, Licht, Informations- und Kommunikaionstechnologien, Kälte im Durchschnitt über alle Prozesse im produzierenden Gewerbe (kurz 'KLIK', Sektoren Industrie einschließlich Baugewerbe als Teil des Sektors 'Gewerbe/Handel/Dienstleistungen'). Dient als Referenz für den im Ziel durch wirtschaftliche Entwicklung veränderten Energiebedarf.

736 - ZIEL-Ansatz: Es wird angenommen, dass die wirtschaftliche Entwicklung im produzierenden Gewerbe (Sektor Industrie einschließlich Baugewerbe als Teil des Sektors Gewerbe/Handel/Dienstleistungen) sich mit halber Intensität auf den Stromverbrauch in diesem Bereich auswirkt. Hintergrund für diese Annahme ist eine weiter zurückgehende Materialintensität der künftigen Produktpalette, wie dies beispielsweise in der Datenverarbeitung mit dem Trend zu immer kleineren Geräten zu beobachten ist. Diese Annahme ist allerdings mit großen Unsicherheiten behaftet.

738 **Zieleinfluss Prozess-Effiz.prod.Gewerbe auf KLIK** % 100,0 [739] **73,0** [741]

739 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status des spezifischen Stromverbrauchs für Kraft, Licht, Informations- und Kommunikaionstechnologien, Kälte im Durchschnitt über alle Prozesse produzierenden Gewerbe (Sektor 'Industrie') plus dem gewerblichen Anteil des Sektors 'Gewerbe/Handel/Dienstleistungen'. Dient als Referenz für den im Ziel durch Effizienzsteigerung gesenkten Energiebedarf bei gleichem Leistungsumfang.

741 - ZIEL-Ansatz: Orientiert an den Ergebnissen einer Studie des VDE [9.237], aufbereitet in [9.193], Absatz S. 72.

742

744 **Gebäudewärme-Endenergieverbrauch (GW)**

746 **Anteil Haushalte an GW** % 67,3 [747] **67,3** [749]

747 - STATUS-Ansatz: Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28] für das Jahr 2012, Aufbereitung siehe

749 - ZIEL-Ansatz: Dient als Berechnungsgrundlage für das (fiktive) künftige Bedarfsniveau im Anwendungsbereich Gebäudewärme im Sektor Haushalte, das sich ohne Volumen-, Effizienz-und Energiemix-Änderungen einstellen würde. Der Status-Ansatz wird methodisch bedingt unverändert übernommen.

751 **Wohnfläche pro Person** qm/Person 43,2 [752] **43,2** [754]

752 - STATUS-Ansatz: 43,2 qm/Kopf resultieren aus einer linearen Interpolation der angegebenen Werte von 42,0 für 2010 und 44,11 für 2015 gemäß BMU Leitstudie 2011 [9.57], S. 47.

754 - ZIEL-Ansatz: Abweichend vom Ansatz im Niedersachsen-Szenario wird hier davon ausgegangen, dass sich die Wohnfläche pro Person nicht weiter erhöht.
Dort wurde eine Erhöhung auf 49,1 qm/Kopf gemäß BMU Leitstudie 2011 [9.57], S. 47 angenommen.

756	**Anteil GHD + Industrie an GW**	%	32,7	[757]	**32,7**	[759]

757 - STATUS-Ansatz: Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28] für das Jahr 2012, Aufbereitung siehe [7.91] + [7.92].

759 - ZIEL-Ansatz: Dient als Berechnungsgrundlage für das (fiktive) künftige Bedarfsniveau im Anwendungsbereich Gebäudewärme im Sektor Haushalte, das sich ohne Volumen-, Effizienz-und Energiemix-Änderungen einstellen würde. Der Status-Ansatz wird methodisch bedingt unverändert übernommen.

761	**Zieleinfluss Erwerbstätigkeit auf GW**	%	100,0	[762]	**100,0**	[764]

762 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status des spezifischen Bedarfs an Gebäudewärme in gewerblich genutzten Gebäuden. Dient als Referenz für den im Ziel durch Entwicklung der Erwerbstätigkeit veränderten Energiebedarf.

764 - ZIEL-Ansatz: Abweichend vom Niedersachsen-Szenario wird hier davon ausgegangen, dass die Erwerbstätigkeit keine Veränderung auf den Bedarf an Gebäudewärme bewirkt.
Dort war davon ausgegangen worden, dass 91,3 % des heutigen Bedarfs an Gebäudewärme in gewerblich genutzten Gebäuden aus der Entwicklung der Anzahl Beschäftigten und der Nutzfläche pro Beschäftigtem [765] resultieren.

765 In der BMU Leitstudie 2011 [9.57], S.47, wird von einem Rückgang der Beschäftigtenzahlen auf 78% , aber von einem Anstieg der Nutzfläche pro Beschäftigtem auf 117% ausgegangen.

767	**Anteil Raumwärme an GW**	%	85,3	[768]	**85,3**	[770]

768 - STATUS-Ansatz: Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28] für das Jahr 2012, Aufbereitung siehe [7.44].

770 - ZIEL-Ansatz: Dient als Berechnungsgrundlage für das (fiktive) künftige Bedarfsniveau im Anwendungsbereich Gebäudewärme im Sektor Haushalte, das sich ohne Volumen-, Effizienz-und Energiemix-Änderungen einstellen würde. Der Status-Ansatz wird methodisch bedingt unverändert übernommen.

772	**Spez. Raumwärmeverbrauch**	kWh/qm/a	122,1	[773]	**45,2**	[776]

773 - STATUS-Ansatz: Gemäß co2online [9.132] wird für Deutschland 2013 ein Heizenergieverbrauch von 134 kWh/qm/a . Die Raumwärme hatte daran einen Anteil von 122,1 kWh/qm/a angegeben (errechnet mit [774]), der Rest dient der Warmwasserbereitung. Hier wird angenommen, dass der für Wohnungen ermittelte Wert ohne großen Fehler auch für gewerbliche und für Dienstleistungen genutzte Räume angesetzt werden kann.

774 91,1% beträgt der Anteil Raumwärme am Heizenergieverbrauch der Wohnungen in Deutschland 2012, resultierend aus den Anwendungsbilanzen gemäß [9.28].

776 - ZIEL-Ansatz: Unter der Annahme, dass 33% des künftigen Gebäudebestandes auf Passivhausstandard gebracht werden können und die übrigen Gebäude zukunftsfähig saniert werden [777], resultiert am Ende ein durchschnittlicher Raumwärmeverbrauch von 45,2kWh/qm/a, der hier angenommen wird. Dieser Ansatz liegt somit zwischen dem sehr optimistisch erscheinenden Ansatz in UBA Treibhausgasneutrales Deutschland 2050 [778] und dem konservativen Ansatz in BMU Leitstudie 2011 [779].

777 15 kWh/qm/a können nach eigenen Recherchen [9.193] als Raumwärmebedarf von Bauten im Passivhausstandard angenommen werden, 60 kWh/qm/a für zukunftsfähig sanierte Gebäude.

778 UBA Treibhausgasneutrales Deutschland 2050 [9.231], S. 76: Geht im zielkonformen Szeario V1 von einer energetischen Gebäudesanierungsrate von 2,7%/a aus, wobei 82% des Bestandes auf einen durchschnittlichen Nutzwärmebedarf von 30 kWh/qm/a gebracht werden und 18 % durch Neubauten mit einem Nutzwärmebedarf von 10 kWh/qm/a ersetzt werden. Daraus resultiert ein Nutzwärmedarf von 26 kWh/qm/a.

779 BMU Leitstudie 2011 [9.57], S. 63: "In den Szenarien 2011 wird davon ausgegangen, dass der spezifische Endenergieverbrauch für Raumwärme in Wohngebäuden bis 2050 um über 57% auf 63 kWh/(m2 · a) im Jahr 2050 sinken wird.

781	**Gebäude-Sanierungs-/Ersatzrate**	%	**2,64**	[782]		

782 In Anlehnung an UBA Treibhausgasneutrales Deutschland 2050 [778] wird hier die Sanierungsrate so gewählt, dass bis 2050 praktisch der gesamte Gebäudebestand auf einen zukunftsfähigen Wärmeschutz gebracht ist.

784	**Gebäudesanierungs-Zeitraum**	Jahr:	2012	[785]	**2050**	[787]

785 - STATUS-Ansatz: Hier wurde aus Konsistenzgründen das allgemein für die Statusbetrachtung des Energieverbrauchs angenommene Referenzjahr 2012 [28] angenommen. Da die Sanierungsrate zurzeit aber sehr viel niedriger liegt, muss dies durch eine zweitweilig entsprechend erhöhte Sanierungsrate ausgeglichen werden.

787 - ZIEL-Ansatz: Entsprechend [27].

789	**Anteil Warmwasser an GW**	%	14,7	[790]	**14,7**	[792]

790 - STATUS-Ansatz: Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28] für das Jahr 2012, Aufbereitung siehe [7.44]. 784

792 - ZIEL-Ansatz: Dient als Berechnungsgrundlage für das (fiktive) künftige Bedarfsniveau im Anwendungsbereich Gebäudewärme im Sektor Haushalte, das sich ohne Volumen-, Effizienz-und Energiemix-Änderungen einstellen würde. Der Status-Ansatz wird methodisch bedingt unverändert übernommen. 786

794 **Zieleinfluss Verwend.-/Proz.Effizienz Warmwasser** kWh/qm/a 100,0 [795] **80,0** [797] 788

795 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status als Bezug für den künftig gesenkten Energiebedarf durch Effizienzsteigerung im Bereich der Warmwasser-Verwendung in Haushalten (z. B. Sparbrause) und verringerten Warmwasserbedarf durch optimierte Prozesse im gewerblichen und Dienstleistungsbereich. 789

797 - ZIEL-Ansatz: Pauschale Annahme für die Senkung des Energiebedarfs für Warmwasser durch effiziente Anwendung in Haushalten (z. B. Sparbrause), Wärmerückgewinnung und Wassersparende Prozesse im gewerblichen Bereich. 791

799 **Anteil Strom an GW** % 4,5 [800] (resultierend) [802] 793

800 - STATUS-Ansatz: Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28], Aufbereitung siehe [7.37]. 794

802 - ZIEL-Ansatz: Resultiert aus 100% abzüglich Anteil Brennstoffe [810] abzüglich Anteil Wärme [804] und abzüglich der Einsparungen, die aus geringeren Wandlungsverlusten wegen höherer Nutzungsgrade bzw. höherer Anteile von verlustfrei nutzbarer Wärme und Strom resultieren. Begründung für den großen Anteil: Für Gebäudewärme lässt sich der universell einsetzbare und daher besonders wertvolle Energieträger Strom durch den Einsatz von Wärmepumpen um den Faktor 3-4 effizienter nutzen [524] als durch Direktwärme in Widerstandsheizungen (z. B. Nachtspeicherheizungen, Heizlüfter, Heizstrahler usw.). 796

804 **Anteil Wärme an GW** % 16,9 [805] **65,0** [807] 798

805 - STATUS-Ansatz: Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28], Aufbereitung siehe [7.39]. 799

807 - ZIEL-Ansatz: (Bei Abweichungen gilt Abgleichergebnis in _S.xlsx) Ansatz in Anlehnung an IWES [808] und UBA [814] aufgrund folgender Überlegung: Neben der Nutzung von Abwärme kann ein hoher Anteil mit Wärmepumpen gewonnener Umgebungswärme im Gebäudebereich zur Schonung der begrenzten Brennstoffpotenziale für kritische Anwendungen (z. B. Kraftstoffe, Prozesswärme) und zum effizienten Umgang mit Strom beitragen (siehe [524]). 801

808 IWES Geschäftsmodell Energiewende [9.114], S. 14: "(…) hohe Durchdringung von 75% Wärmepumpen im Niedertemperaturbereich für Raumwärme und Warmwasser (…)". 802

810 **Anteil Brenstoffe an GW** % 78,5 [811] **0,0** [813] 804

811 - STATUS-Ansatz: Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28], Aufbereitung siehe [7.41]. 805

813 - ZIEL-Ansatz: Die Nutzung von Biomasse zur Substitution der fossilen Brennstoffe als heutige Hauptquelle für Gebäudewärme liegt zwar nahe. Allerdings sind die Potenziale eng begrenzt und sie stehen in Konkurrenz mit Anwendungen, bei denen eine Substitution aus anderen Quellen technisch noch ungünstiger wäre (z. B. Kraftstoffe oder Brennstoffe in Industrieprozessen). Hier wird daher in Anlehnung an Variante 1 in Treibhausgasneutrales Deutschland 2050 [814] auf den Einsatz von Brennstoffen für Gebäudewärme verzichtet. 807

814 UBA Treibhausgasneutrales Deutschland 2050 [9.231], S. 77: EIn Variantenvergleich zur Beheizung der Wohngebäude ergibt für die ausschließliche Anwendung von Wärmepumpen (V1 Energieziel 2050) einen Energieverbrauch von 27,3 TWh, bei Gasheizkesseln in den sanierten Gebäuden (V3) mit 63,5 TWh mehr als das Doppelte. 808

816 **Nutzungsgrad Endanwend. Brennstoffe für GW** % 80,0 [817] **85,0** [819] 810

817 - STATUS-Ansatz: Schätzwert für den durchschnittlichen Nutzungsgrad aller mit Brennstoff befeuerten Industrieöfen und gewerblichen Verbrennungsprozesse (Nutzenergie / Heizwert). Dient dazu, reduzierte Wandlungsverluste und damit die Bedarfsminderung bei der Endenergie für Prozesswärme zu ermitteln, die durch Effizienzgewinne und durch Verschiebung des Energiemix auf die verlustarm zu nutzenden Energieträger Strom und Wärme zu erreichen ist. 811

819 - ZIEL-Ansatz: Annahme einer leichten Verbesserung durch Effizienzsteigerung bei Heizungskesseln und Öfen, der durch hohe Temperaturen und unvermeidliche Rauchgas-Verluste allerdings enge technische Grenzen gesetzt sind. 813

821 **Prozesswärme-Endenergieverbrauch (PW)** 815

823 **Anteil Haushalte an PW** % 7,5 [824] **7,5** [826] 817

824 - STATUS-Ansatz: Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28] für das Jahr 2012, Aufbereitung siehe [7.90]. 818

826 - ZIEL-Ansatz: Dient als Berechnungsgrundlage für das (fiktive) künftige Bedarfsniveau im Anwendungsbereich Prozesswärme im Sektor Haushalte, das sich ohne Volumen-, Effizienz-und Energiemix-Änderungen einstellen würde. Der Status-Ansatz wird methodisch bedingt unverändert übernommen. 820

828 **Zieleinfluss Anwendungs-Effiz. Haushalte auf PW** % 100,0 [829] **90,0** [831] 822

829 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status der Energieintensität (Prozesswärmebedarf pro erbrachte Prozessleistung) der thermischen Prozesse in Haushalten (Wäsche trocknen, Wäsche waschen, Kochen, Backen usw). Dient als Referenz für den im Ziel durch Effizienzsteigerung gesenkten Energiebedarf. 823

831 - ZIEL-Ansatz: Orientiert an den Aussagen eines Forschungsberichtes an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie [9.181], S. 54. Danach kann das Effizienz-Potenzial als marginal eingeschätzt werden: Wäschetrockner und Waschmaschinen werden auf 10% Bedarfsminderung (Wirtschaftliches Potenzial 2007-2016) geschätzt, Kochen und Backen bleiben, vermutlich wegen sehr geringer Potenziale, unbetrachtet. 825

833 **Anteil Industrie und Gewerbe an PW** % 92,5 [834] **92,5** [836] 827

834 - STATUS-Ansatz: 92,5 % Industrie plus 0,0 % Handel-/Dienstleistungs-Gewerbe vom Endenergieverbrauch für Prozesswärme im Jahr 2012 gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28], Aufbereitung siehe [7.92]. (Der verbleibende Restanteil ist den Haushalten zuzuordnen). 828

836 - ZIEL-Ansatz: Dient als Berechnungsgrundlage für das (fiktive) künftige Bedarfsniveau im Anwendungsbereich Prozesswärme in den Sektoren Industrie und Gewerbe, das sich ohne Volumen-, Effizienz-und Energiemix-Änderungen einstellen würde. Der Status-Ansatz wird methodisch bedingt unverändert übernommen. 830

838 **Zieleinfl.Materialdurchsatz/Pers.auf PW** % 100,0 [839] **100,0** [841] 832

839 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status des spezifischen Prozesswärmeverbrauchs pro Person im Durchschnitt über alle Prozesse im produzierenden Gewerbe (Sektoren Industrie einschließlich Baugewerbe als Teil des Sektors 'Gewerbe/Handel/Dienstleistungen'). Dient als Referenz für den im Ziel durch wirtschaftliche Entwicklung veränderten Energiebedarf. 833

841 - ZIEL-Ansatz: Es wird angenommen, dass die wirtschaftliche Entwicklung im produzierenden Gewerbe (Sektor Industrie einschließlich Baugewerbe als Teil des Sektors Gewerbe/Handel/Dienstleistungen) sich mit halber Intensität auf den Prozesswärmebedarf in diesem Bereich auswirkt. Hintergrund für diese Annahme ist eine weiter zurückgehende Materialintensität der künftigen Produktpalette, wie dies beispielsweise in der Datenverarbeitung mit dem Trend zu immer kleineren Geräten zu beobachten ist. Diese Annahme ist allerdings mit großen Unsicherheiten behaftet. 835

843 **Zieleinfluss Prozess-Effizienz Ind./Gew. auf PW** % 100,0 [844] **80,0** [846] 837

844 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status der Energieintensität (Prozesswärmebedarf pro Güterproduktion) im Durchschnitt über alle industriellen und gewerblichen Prozesse. Dient als Referenz für den im Ziel durch Effizienzsteigerung gesenkten Energiebedarf. 838

846 - ZIEL-Ansatz: Die Übernahme der Ergebnisse eines älteren Forschungsberichtes mit einem ermittelten technischen Gesamtpotenzial bei Prozesswärme von 35,6% [848] wird wegen des abgelaufenen Betrachtungshorizonts verworfen. Es ist davon auszugehen, dass die wesentlichen Teile des Potenzials im Statusjahr 2012 bereits erschlossen waren. Die im Bereich Prozesswärme weniger detailliert gestaltete Folgestudie [847] lässt vermuten, dass die über den Betrachtungshorizont 2016 hinausgehenden weiteren Potenziale deutlich geringer sind. Da zurzeit konkret verwertbare Erkenntnisse nicht vorliegen, wird hier eine moderate Bedarfsminderung um 20% auf 80% im Zieljahr geschätzt. 840

847 Ein Forschungsvorhaben für die nationale Klimainitiative der Bundesregierung [9.129] ergab für die Zeitspanne von 2010 bis 2030 erhebliche, bereits unter heutigen Bedingungen wirtschaftliche Effizienzpotenziale. Eine direkte Nutzung der Studienergebnisse war wegen methodischer Unterschiede und mangelnder Detailinformationen nicht möglich. Die auf S. 76 gezeigte "Landkarte der bis 2030 realisierbaren Effizienzpotenziale" deutet aber darauf hin, dass die Hauptpotenziale im Bereich Gebäudesanierung und effizienter PKW liegt. Die Potenziale für Prozesswärme nehmen sich dagegen eher bescheiden aus. 841

848 Ein Forschungsbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie [9.181] kommt zu dem Ergebnis, dass durch Effizienzsteigerung der verschiedenen thermischen Prozesse in der Industrie bis zum Jahr 2016 insgesamt ein technisches Minderungspotenzial von 35,6 Prozent besteht, wobei 20,2 Prozent aus Sicht der Autoren (2006) bereits unter derzeitigen Bedingungen als wirtschaftlich bewertet wurden. Dieses Gesamtpotenzial setzt sich aus Einzelmaßnahmen [849] und Systemoptimierung [850] zusammen. 842

849 Durch Einzelmaßnahmen zur Effizienzsteigerung der thermischen Prozesse in der Industrie (Maßnahmen 10, 11, 12, 13) gemäß [9.181] besteht ein technisches Minderungspotenzial von 13,6 Prozent, wobei 6,2 Prozent als wirtschaftlich bewertet wurden (Stand 2006).

850 Durch Prozess- und Systemoptimierung, die über Einzelmaßnahmen hinausgeht, ist gemäß [9.181] ein weiteres Potenzial von 22 Prozent erschließbar, davon wurden 14 Prozent als wirtschaftlich erachtet (2006).

852 **Anteil Brenstoffe an PW** % 72,7 [853] **44,3** [855]

853 - STATUS-Ansatz: Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28], Aufbereitung siehe [7.41].

855 - ZIEL-Ansatz: (Bei Abweichungen gilt Abgleichergebnis in _S.xlsx) Aufgrund folgender Überlegung: Die Nutzung von Biomasse zur Substitution der fossilen Brennstoffe als heutige Hauptquelle für Porzesswärme liegt zwar nahe. Allerdings sind die Potenziale eng begrenzt und sie stehen in Konkurrenz mit Anwendungen, bei denen eine Substitution aus anderen Quellen technisch noch ungünstiger wäre (z. B. Kraftstoffe für mobile Anwendungen im Verkehrsbereich). Hier bleibt die Brennstoff-Substitituion daher auf die festen Biobrennstoffe beschränkt, der übrige Bedarf wird durch Wärme [865] und Strom abgedeckt [870].

857 **Nutzungsgrad Endanwend. Brennstoffe für PW** % 70,0 [858] **80,0** [860]

858 - STATUS-Ansatz: Schätzwert für den durchschnittlichen Nutzungsgrad aller mit Brennstoff befeuerten Industrieöfen und gewerblichen Verbrennungsprozesse (Nutzenergie / Heizwert). Dient dazu, reduzierte Wandlungsverluste und damit die Bedarfsminderung bei der Endenergie für Prozesswärme zu ermitteln, die durch Effizienzgewinne und durch Verschiebung des Energiemix auf die verlustarm zu nutzenden Energieträger Strom und Wärme zu erreichen ist.

860 - ZIEL-Ansatz: Annahme einer leichten Verbesserung durch Effizienzsteigerung bei den Industrieöfen, der durch hohe Temperaturen und unvermeidliche Rauchgas-Verluste allerdings enge technische Grenzen gesetzt sind. Die zusätzliche Abwärmenutzung, z. B. für Gebäudewärme, ist nicht in diesem Wert enthalten, sie wird unter Wärmequellen gesondert erfasst.

862 **Anteil Wärme (Hoch-Temp.) an PW** % 11,0 [863] **0,0** [865]

863 - STATUS-Ansatz: Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28], Aufbereitung siehe [7.39].

865 - ZIEL-Ansatz: Aufgrund folgender Überlegung: Die Nutzung von Abwärme als Prozesswärme ist grundsatzlich sinnvoll und lässt sich vermutlich noch ausweiten. Im Gegensatz zur Anwendung im Gebäudebereich dürfte das noch ungenutzte Potenzial wegen des höheren Temperaturniveaus allerdings überschaubar sein. Andere Quellen (z. B. Solarthermie mit Konzentratoren) erscheinen in Deutschland wenig aussichtsreich.

867 **Anteil Strom an PW** % 16,3 [868] (resultierend) [870]

868 - STATUS-Ansatz: Gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen [9.28], Aufbereitung siehe [7.37].

870 - ZIEL-Ansatz: Resultiert aus 100% abzüglich Anteil Brennstoffe [852] abzüglich Anteil Wärme [862] und abzüglich der Einsparungen, die aus geringeren Wandlungsverlusten wegen höherer Nutzungsgrade bzw. höherer Anteile von verlustfrei nutzbarer Wärme und Strom resultieren. Begründung für den großen Anteil: Der künftige Hauptenergieträger Strom wird den Anteil der heute überwiegend fossilen Prozesswärmebereitstellung übernehmen müssen, der weder durch Wärmelieferung (z. B. Abwärme) [862] noch durch das begrenzte Angebot an erneuerbaren Brennstoffen [852] substituiert werden kann.

872 **Mobile Anwendungen (MA)**

874 **MA am Boden**

876 **Anteil Personenverkehr (PVk) am EEV MA Boden** % 68,1 [877] **68,1** [880]

877 - STATUS-Ansatz: Eigene Berechnungen auf Basis VDV-Statstik [878].

878 Eigene Berechnungen auf Basis VDV-Statistik [9.240], S. 13, 10: Die aus Verkehrsleistung und spezifischem Verbrauch (Tank-to-Wheel) der verschiedenen Verkehrsmittel ermittelten Endenergie-Verbräuche für Deutschland im Jahr 2013 ergeben rund 389 TWh für den Personenverkehr auf Straße und Schiene und 571 TWh insgesamt einschließlich Güterverkehr. Daraus resultiert ein Anteil von 68,1% am Endenergieverbrauch der mobilen Anwendungen am Boden.

880 - ZIEL-Ansatz: Dient als Berechnungsgrundlage für das (fiktive) künftige Bedarfsniveau im Anwendungsbereich Prozesswärme im Sektor Haushalte, das sich ohne Volumen-, Effizienz-und Energiemix-Änderungen einstellen würde. Der Status-Ansatz wird methodisch bedingt unverändert übernommen.

882 **Zieleinfluss Entwicklung PVk** % 100,0 [883] **100,0** [885]

883 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status der Personenverkehrsleistung pro Einwohner im Durchschnitt über den Modal-Mix der Personenverkehrsmittel. Dient als Referenz für die Veränderung der Personenverkehrsleistung zum Zieljahr. 877

885 - ZIEL-Ansatz: Abweichend vom Niedersachsen-Szenario wird hier von einer künftigen Verkehrsleistung auf heutigem Niveau ausgegangen. 879
Dort wurde gemäß BMU-Leitstudie [886] von eienr geringfügigen Verringerung der Personenkilomenterzahl pro Kopf ausgegangen.
886 In der BMU Leitstudie 2011 [9.57], S.47, ist man gemäß der Ansätze in früheren Leitstudien von einer Entwicklung der Personenverkehrsleistung in Deutschland von 13.829 Perosonenkilometern pro Kopf im Jahr 2010 auf 13.734 pkm/Kopf im Jahr 2050 entsprechend 99,3% ausgegangen. 880

888 **Vorgabe: Anteil Elektrotraktion an PVk-Leistung** % 6,7 [889] **89,2** [892] neu
889 - STATUS-Ansatz: Zur Orientierung das Resultat eigener Berechnungen von [S.4.135] übernommen. neu

892 - ZIEL-Ansatz: Abgleich-Vorgabe ist orientiert am Gutachten [9.99], Anhang D, [D.1.882]. Ein hoher Anteil Elektrotraktion im Personenverkehr wurde einmal wegen der ca. dreifach höheren Effizienz des Elektroantriebs neu
893 Bei dieser Betrachtung wurde keine Änderung im Modalsplit vorgesehen, der hohe Anteil von Individualverkehr am Personenverkehr bleibt erhalten. Allerdings erscheint es als wahrscheinlich, dass der Anteil der Bahn am Modalsplit zumindest im Fernverkehr zunehmen könnte. Wegen des Effizienzvorteils der Bahnen gegenüber PKW würde dies zu einer weiteren Senkung des Energiebedarfs führen. neu
894 UBA Treibhausgasneutrales Deutschland 2050 [9.231], S. 114: "(…) bei den Pkw bis zum Jahr 2050 57 % der Fahrleistung elektrisch erbracht wird (…)". neu
895 IWES Geschäftsmodell Energiewende [9.114], S. 14, sieht "100% E-Mobilität im PKW-Bereich" vor und erfasst damit den weitaus größten Teil des Personenverkehrs. neu

897 **Anteil Elektrotraktion am Endverbrauch im PVk** % 2,3 [898] **75,0** [901] 882
898 - STATUS-Ansatz: Eigene Berechnungen nach VDV-Statstik [899]. 883
899 Eigene Berechnungen auf Basis VDV-Statistik [9.240], S. 13, 10: Die aus Verkehrsleistung und spezifischem Verbrauch (Tank-to-Wheel) der verschiedenen Verkehrsmittel ermittelten Endenergie-Verbräuche für Deutschland im Jahr 2013 ergeben rund 389 TWh für den Personenverkehr auf Straße und Schiene, davon 8,8 TWh Strom für Fernbahn, Regionalbahn, Stadtbahn, U-Bahn und Straßenbahn (Elektro-Straßenfahrzeuge waren noch vernachlässigbar). Damit hatte die Elektrotraktiion einen Anteil von 2,3% am Endenergieverbrauch des Personenverkehrs auf Straße und Schiene. 884

901 - ZIEL-Ansatz: Resultiert aus dem Abgleich nach der Vorgabe "Anteil Elektrotraktion an Personen-VERKEHRSLEISTUNG" gemäß [888]. 886

906 **Nutzungsgrad Elektrotraktion PVk** % 78,0 [907] **78,0** [909] 891
907 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status Quo des Verhältnisses von Nutzenergie zum Endenergieverbrauch gemäß [911]. Dient zur Ermittlung des mit dem bekannten Endenergieverbrauch erreichten Nutzenergieaufkommen als Maß für die erreichte Verkehrsleistung. 892

909 - ZIEL-Ansatz: Repräsentiert das für den Zielzeitpunkt anzunehmende Verhältnis von Nutzenergie zum Endenergieverbrauch gemäß [911]. Dient zur Ermittlung des mit dem angenommenen Endenergieverbrauch erreichbaren Nutzenergieaufkommens als Maß für die erreichbare Verkehrsleistung. Es wird davon ausgegangen, dass keine nennenswerten Potenziale zu einer weiteren Steigerung des bereits hohen Eiffizienzniveaus gegeben sind. 894
911 In einer Betrachtung der TU München zur Energieeffizienz durch Elektromobilität [9.243], S. 17, werden Fahrzeug-Nutzungsgrade (Verhältnis Nutzenergie zu der als Kraftstoff getankten bzw. zur Batterielandung aufgenommenen Endenergie) abhängig vom Antriebstyp gegenübergestellt: Ottomotor 24% , Dieselmotor 27% , Elektromotor mit Batterie 78% . Hier wird vereinfachend angenommen, dass der Nutzungsgrad für oberleitungsgetriebene Elektrofahrzeuge auf Schiene und Straße auf gleichem Niveau liegen. 896

913 **Nutzungsgrad Kraftstofftraktion PVk** % 25,5 [914] **28,4** [916] 898
914 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status Quo des Verhältnisses von Nutzenergie zum Endenergieverbrauch gemäß [911], wobei wegen der vergleichbaren Anteile das Mittel von Diesel- und Ottomotor-betriebenen Fahrzeugen angesetzt wird. Dient zur Ermittlung des mit dem bekannten Endenergieverbrauch erreichten Nutzenergieaufkommen als Maß für die erreichte Verkehrsleistung. 899

916 - ZIEL-Ansatz: Orientiert an dem Einsparpotenzial von 11,4% gemäß IFEU Effizienzstrategie [917] im PKW-Bereich, die den größten Anteil am Personenverkehr ausmachen. 901

917 IFEU Effizienzstrategie für Deutschland [9.126], S. 19: "Durch Einführung von effizienten Fahrzeugen, insbesondere durch effiziente PKW, können etwa 175 PJ eingespart werden." Bezogen auf den Endenergieverbrauch 2012 von 1.534 PJ, der auf PKW entfällt (2419,6 PJ Mobile Anwendungen am Boden [BS.4.20] * 68,1% Anteil Personenverkehr * 93,1% Anteil PKW), entspricht das einem Einsparpotenzial von 11,4% . 902

919 **Brennstoffzellen-Traktio (FC) statt Verbrenner** % (n. r.) [920] **(Passiv)** [922] neu

920 - STATUS-Ansatz: Nicht relevant, da die Option Brennstoffzellen-Traktion noch nicht gebräuchlich ist. neu

922 - ZIEL-Ansatz: Im Startszenario wird zur Ergänzung der Elektroantriebe klassisch von Verbrennungsmotoren ausgegangen. neu

924 **Nutzungsgrad Brennstoffzellen-Traktion (FC)** % 35,0 [925] **40,0** [927] neu

925 - STATUS-Ansatz: "Für den mobilen Einsatz in Fahrzeugen kommen daher nur PEFC bei 70°C und festem Elektrolyt mit Leistungen von etwa 250kW zum Einsatz, die einen Wirkungsgrad von bis zu 35% aufweisen". (In der Literatur auch PEM bzw. PEMFC). neu

927 - ZIEL-Ansatz: Orientiert am Status wird von einem erreichbaren Wirkungsgrad von 40% ausgegangen. neu

930 **Zieleinfluss Entwicklung Güterverkehr (GVk)** % 100,0 [931] **100,0** [933] 904

931 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status der Güterverkehrsleistung (Tonnenkilometer pro Einwohner) im Durchschnitt über die verbrennungsmotorisch betriebenen Güterverkehrsmittel. Dient als Referenz für Veränderung der Güterverkehrsleistung zum Zieljahr. 905

933 - ZIEL-Ansatz: Abweichend vom Niedersachsen-Szenario wird hier von einer künftigen Verkehrsleistung auf heutigem Niveau ausgegangen. 907
Dort wurde gemäß BMU-Leitstudie [934] davon ausgegangen, dass die Tonnenkilomenterzahl pro Kopf auf 158 % gegenüber 2012 steigt.

934 In der BMU Leitstudie 2011 [9.57], S.47, ist man gemäß der Ansätze in früheren Leitstudien von einer Entwicklung der Güterverkehrsleistung in Deutschland von 7.643 Tonnenkilometern pro Kopf im Jahr 2010 auf 12.075 tkm/Kopf im Jahr 2050 entsprechend 158% ausgegangen. 908

936 **Vorgabe: Anteil Elektrotraktion an GVk-Leistung** % 4,5 [937] **88,6** [940] neu

937 - STATUS-Ansatz: Zur Orientierung das Resultat eigener Berechnungen von [S.4.160] übernommen. neu

940 - ZIEL-Ansatz: Abgleich-Vorgabe ist orientiert am Gutachten [9.99], Anhang D, [D.1.910]. Ein hoher Anteil Elektrotraktion im Güterverkehr wurde einmal wegen der ca. dreifach höheren Effizienz des Elektroantriebs neu

941 Bei dieser Betrachtung wurde keine Änderung im Modalsplit vorgesehen, der hohe Anteil der LKW am Personenverkehr wird fortgeschrieben. Allerdings erscheint es als wahrscheinlich, dass der Anteil der Bahn am Modalsplit auch im Güterverkehr zunehmen könnte. Wegen des Effizienzvorteils der Bahnen gegenüber LKW würde dies zu einer weiteren Senkung des Energiebedarfs führen. neu

942 UBA Treibhausgasneutrales Deutschland 2050 [9.231], S. 114: "(…) bei den Pkw bis zum Jahr 2050 57 % der Fahrleistung elektrisch erbracht wird (…)". neu

943 IWES Geschäftsmodell Energiewende [9.114], S. 14, sieht "100% E-Mobilität im PKW-Bereich" vor und erfasst damit den weitaus größten Teil des Personenverkehrs. neu

945 **Anteil Elektrotraktion am Endverbrauch im GVk** % 1,6 [946] **75,0** [949] 910

946 - STATUS-Ansatz: Resultiert aus dem Abgleich nach der Vorgabe "Anteil Elektrotraktion an Güter-VERKEHRSLEISTUNG" gemäß [936]. 911

947 Eigene Berechnungen auf Basis VDV-Statistik [9.240], S. 13, 10: Die aus Verkehrsleistung und spezifischem Verbrauch (Tank-to-Wheel) der verschiedenen Verkehrsmittel ermittelten Endenergie-Verbräuche für Deutschland im Jahr 2013 ergeben rund 181 TWh für den Güterverkehr auf Straße, Schiene und Binnenwasserstraßen, davon 2,9 TWh Strom für die Bahn. Damit hatte die Elektrotraktiion einen Anteil von 1,6% am Endenergieverbrauch des Güterverkehrs. 912

949 - ZIEL-Ansatz: Resultiert aus dem Abgleich nach der Vorgabe "Anteil Elektrotraktion an Güter-VERKEHRSLEISTUNG" gemäß [936]. 914

954 **Nutzungsgrad Elektrotraktion GVk** % 78,0 [955] **78,0** [957] 919

955 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status Quo des Verhältnisses von Nutzenergie zum Endenergieverbrauch gemäß [959], wobei vereinfachend der Wert für den Personenverkehr hier auch für den Güterverkehr übernommen wird. Dient zur Ermittlung des mit dem bekannten Endenergieverbrauch erreichten Nutzenergieaufkommen als Maß für die erreichte Verkehrsleistung. 920

957 - ZIEL-Ansatz: Repräsentiert das für den Zielzeitpunkt anzunehmende Verhältnis von Nutzenergie zum Endenergieverbrauch gemäß [959], wobei vereinfachend der Wert für den Personenverkehr hier auch für den Güterverkehr übernommen wird. Dient zur Ermittlung des mit dem angenommenen Endenergieverbrauch erreichbaren Nutzenergieaufkommens als Maß für die erreichbare Verkehrsleistung. Es wird davon ausgegangen, dass keine nennenswerten Potenziale zu einer weiteren Steigerung des bereits hohen Eiffizienzniveaus gegeben sind. Außerdem wird vereinfachend angenommen, dass der Nutzungsgrad für oberleitungsgetriebene Elektrofahrzeuge auf Schiene und Straße auf gleichem Niveau liegen.

959 In einer Betrachtung der TU München zur Energieeffizienz durch Elektromobilität [9.243], S. 17, werden Fahrzeug-Nutzungsgrade (Verhältnis Nutzenergie zu der als Kraftstoff getankten bzw. zur Batterielandung aufgenommenen Endenergie) abhängig vom Antriebstyp gegenübergestellt: Dieselmotor 27% , Elektromotor mit Batterie 78% .

961 **Nutzungsgrad Kraftstofftraktion GVk** % 27,0 [962] **30,1** [964]

962 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status Quo des Verhältnisses von Nutzenergie zum Endenergieverbrauch gemäß [959], wobei wegen der Dominanz von Dieselantrieben dieser Wert angesetzt wird. Dient zur Ermittlung des mit dem bekannten Endenergieverbrauch erreichten Nutzenergieaufkommen als Maß für die erreichte Verkehrsleistung.

964 - ZIEL-Ansatz: Die Senkung des Kraftstoffverbrauchs im Güterverkehrsbereich durch Effizienzsteigerung der Verbrennungsmotoren, vor allem bei LKW, wird hier von der Effizienzsteigerung um 11,4% bei PKW [917] abgeleitet.

966 **MA Luftverkehr**

968 **Zieleinfluss Luftverkehrs-Entwicklung** % 100,0 [969] **100,0** [971]

969 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status der Güterverkehrsleistung (Personenkilometer pro Einwohner) im Durchschnitt der Luftfahrzeuge. Dient als Referenz für Veränderung der Luftverkehrsleistung zum Zieljahr.

971 - ZIEL-Ansatz: Abweichend vom Niedersachsen-Szenario wird hier von einer künftigen Verkehrsleistung auf heutigem Niveau ausgegangen.
Dort wurde für die weitere Entwicklung des Luftverkehrs (größtenteils Personenverkehr) analog zur Entwicklung des Personenverkehrs allgemein [886] eine geringfügige Abnahme zugrunde gelegt.

973 **Zieleinfl.Luftverkehrs-Effizienz auf Krafstoffverbr.** % 100,0 [974] **71,9** [976]

974 - STATUS-Ansatz: Repräsentiert den Status der Energieintensität (Energiebedarf pro Personenkilometer) im Durchschnitt über die Luftfahrzeuge. Dient als Referenz für den im Ziel durch Effizienzsteigerung gesenkten Energiebedarf.

976 - ZIEL-Ansatz: Orientiert sich an einer vom BMU beauftragten Studie [977].

977 Vom BMU beauftragte Studie zu den Effizienzpotenzialen bei Flugzeugen [9.117], S. 57: "Kurz- und mittelfristig könnte sich der spezifische Kraftstoffverbrauch der weltweiten Flotte von 4,8 Liter pro 100 Pkm heute auf 3,8 Liter pro 100 Pkm im Jahr 2015 reduzieren. Bis zum Jahr 2026 könnte der spezifische Kraftstoffverbrauch auf 3 Liter pro 100 Pkm sinken (Airbus 2007)". Bezogen auf den linear für 2012 interpolierten Verbrauchswert von 4,2 l/100km resultiert ein auf 71,9% verminderter Energieverbrauch.

D.7.VerbrauchStatus - Szenario 'Niedersachsen 100%EE' (150826)

Endverbrauch Anteile Energieträger je Anwendungsbereich

Energieträger % von Anwendungsber.	Anwendungsbereich: Kraft/Licht/ IKT/Kälte	Gebäudewärme Raumw.	Gebäudewärme Warmwas.	Prozess-wärme	Mobile Anwend.
Strom	100,0	4,5		16,3	2,1
		1,6	2,9		
Wärme	0,0	16,9		11,0	0,0
		15,3	1,6		
Brennstoffe	0,0	78,5		72,7	97,9
		68,3	10,2		
Gesamt	100,0	100,0		100,0	100,0
		85,3	14,7		

Errechnet aus [51] bis [61] .

BS.2.a Endenergie-Verbrauch+ / Einwohner (direkt/indirekt)

Endenergie (kWh)		Anwendung: Kraft/Licht/ IKT/Kälte	Gebäudewärme Raumw.	Gebäudewärme Warmwas.	Prozess-wärme	Mobile Anwend. Boden+	Mobile Anwend. Luft	insgesamt	Nicht-energet.	
Endenergie-Träger	**Strom**	**4.697**	**493**		**1.055**	**205**		**6.449**		[BS.2.8]
			175	318		205	0			[BS.2.9]
	Brennst.gasförm.	**0**	**4.974**		**2.859**	**81**		**7.914**	323	[BS.2.10]
			4.225	749		81	0			[BS.2.11]
	Brennst.flüssig	**0**	**2.389**		**334**	**9.385**		**12.108**	2.962	[BS.2.12]
			2.056	333		8.061	1.324			[BS.2.13]
	Brennst.fest	**0**	**1.190**		**1.503**	**0**		**2.693**	83	[BS.2.14]
			1.158	32		0	0			[BS.2.15]
	Wärme	**0**	**1.843**		**710**	**0**		**2.553**		[BS.2.16]
			1.671	172		0	0			[BS.2.17]
insgesamt		**4.697**	**10.889**		**6.460**	**9.670**		**31.716**	3.367	[BS.2.18]
			9.285	1.605						

BS.2.b Wärme-Endverbrauch pro Einwohner nach Quellen

Endenergie in kWh	Gebäudewärme fossil	Gebäudewärme erneuerb.	Prozesswärme fossil	Prozesswärme erneuerb.	
Wärme	**1.843**		**710**		[BS.2.27]
Fernheizwerke fossil	343		0		[BS.2.28]
erneuerbar		81		0	[BS.2.29]
Fern-HeizKRAFTwerke	952	301	404	0	[BS.2.30]
Nahwärme Abw./erneuerb.	-	167	306	0	[BS.2.31]

BS.2.c Jahresnutzungsgrade Endenergie-Anwendung im Wärmebereich

Jahresnutzungsgrad in %	Gebäudewärme	Prozesswärme	
Strom	100,0	100,0	[BS.2.36]
Brennst.gasförmig	85,0	90,0	[BS.2.37]
Brennst.flüssig	80,0	85,0	[BS.2.38]
Brennst.fest	75,0	80,0	[BS.2.39]
Wärme-Endverbr.	100,0	100,0	[BS.2.40]

BS.2.d Endverbrauch Anteile Sektoren je Anwendungsbereich

Sektoren % von Anwendungsber.	Anwendung: Kraft/Licht/ IKT/Kälte	Gebäudewärme Raumw.	Gebäudewärme Warmwas.	Prozess-wärme	Mobile Anwend. Boden+	Mobile Anwend. Luft	
Haushalte	17,0	67,3		7,5	0,0		[BS.2.47]
Handel/Dienstl.(ohne Gewerb	29,6	24,4		0,0	0,0		[BS.2.48]
Industrie+prod.Gewerb	53,4	8,3		92,5	0,0		[BS.2.49]
Verkehr	0,0	0,0		0,0	100,0		[BS.2.50]

D.8.Kennzahlen Deutschland zum Szenario 'Niedersachsen 100%EE' (150826)

Übernommen aus:
BS.3. Kennzahlen Energieversorgung Deutschland 2012

BS.3.a Strommix und Jahresnutzungsgrad (JNG) Kraftwerke

	Mix-Anteil (%)	JNG (NV+/UE) (%)	
			[BS.3.5]
			[BS.3.6]
Fossil/atomar	**100,0**		[BS.3.7]
Braunkohle	**33,4**	**34,8**	[BS.3.8]
Steinkohle	**24,2**	**34,9**	[BS.3.9]
Kernenergie	**20,7**	**30,5**	[BS.3.10]
Naturgase	**15,9**	**37,1**	[BS.3.11]
Erdöl	**1,6**	**44,4**	[BS.3.12]
Abfall u.sonst.	**4,3**	**27,7**	[BS.3.13]

BS.3.b Strom: Leitungsverluste / Verbrauch im Umwandlungsbereich

		(%)	
			[BS.3.17]
Leitungsverluste	LV/EV	**5,5**	[BS.3.18]
Verbr.im Umwandlungsbereich (	VU/NV	**2,5**	[BS.3.19]

BS.3.d Gasversorgung

		(%)	
			[BS.3.23]
Leitungsverluste	LV/EV+	0,0	[BS.3.24]
Fackelverluste	FV/NV.fos	**0,9**	[BS.3.25]
Verbr.im Umwandlungsbereich	VU/NV.fos	**3,8**	[BS.3.26]
Jahresnutzungsgrad Umwandl.	NV+/PEV	**100,00**	[BS.3.27]

BS.3.e Mineralölversorgung

		(%)	
			[BS.3.32]
Leitungsverluste	LV/EV+	0,0	[BS.3.33]
Fackelverluste	FV/NV.fos	0,0	[BS.3.34]
Verbr.im Umwandlungsbereich	VU/NV.fos	**2,8**	[BS.3.35]
Jahresnutzungsgrad Umwandl.	NE/UE	**82,83**	[BS.3.36]

4

43 ## BS.3.c Braun-/Steinkohleversorgung

44	Kohle-Mix	**Braunk.**	**Steink.**	[BS.3.40]
45	**Gebäudewärme (%)**	**57,8**	**42,2**	[BS.3.41]
46	**Prozesswärme (%)**	**18,09**	**81,9**	[BS.3.42]

47

48	Umwandlung (%):		**Braunk.**	**Steink.**	[BS.3.44]
49	Leitungsverluste	LV/EV+	0,0	0,0	[BS.3.45]
50	Fackelverluste	FV/NV.fos	0,0	0,0	[BS.3.46]
51	**Verbr.im Umwandlungsbereich**	VU/NV.fos	**11,2**	**0,7**	[BS.3.47]
52	**Jahresnutzungsgrad Umwandl.**	NV+/PEV	**100,00**	**97,72**	[BS.3.48]

53

54

55 ## BS.3.f Fernheizwerke: Fossiler Brennstoffmix

56	Mix fossiler Brennstoffe:	(%)	[BS.3.52]
57	**Fossile**	**100,0**	[BS.3.53]
58	**Braunkohle**	**1,8**	[BS.3.54]
59	**Steinkohle**	**20,7**	[BS.3.55]
60	**Erdgas**	**55,5**	[BS.3.56]
61	**Mineralölprodukte**	**4,4**	[BS.3.57]
62	**nicht erneuerb.Abfälle**	**17,5**	[BS.3.58]

63

64	Umwandlung:		(%)	[BS.3.60]
65	**Leitungsverluste**	LV/EV	**9,4**	[BS.3.61]
66	**Verbr.im Umwandlungsbereich**	VU/NV.fos	**9,9**	[BS.3.62]
67	**Jahresnutzungsgrad Umwandl.**	NV+.fos/UE.fos	**71,4**	[BS.3.63]

68

69

70 ## BS.3.g Brennstoff-Endverbrauch: Fossiler Brennstoffmix

71	Mix fossiler Brennstoffe (%):	GW	PW	[BS.3.67]
72	**Fossile**	**100,0**	**100,0**	[BS.3.68]
73	**Braunkohle**	**2,0**	**5,0**	[BS.3.69]
74	**Steinkohle**	**1,5**	**22,8**	[BS.3.70]
75	**Erdgas**	**65,2**	**64,6**	[BS.3.71]
76	**Mineralölprodukte**	**31,3**	**7,5**	[BS.3.72]

77

D.9. Datenmodell Deutschland 100%EE' (180616) - Quellen

3N KOMPETENZZENTRUM (2014): "Biogas in Niedersachsen - Inventur 2014". Zugriff am 03.03.2015.
http://www.3-n.info/download.php?file=pdf_files/InfomaterialDownloadsBiogas/biogasinventur_niedersachsen_2014.pdf

3N KOMPETENZZENTRUM (2014): "Feuerstättenzählung Niedersachsen 2013". Zugriff am 10.08.2015.
http://www.3-n.info/download.php?file=pdf_files/InfomaterialDownloadsFestbrennstoffe/feuerstaettenzaehlung_niedersachsen_2013.pdf

AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN: "föderal erneuerbar - Datenblatt Bioenergie Niedersachsen"; Zugriff am 03.03.2018.
https://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/D/kategorie/bioenergie/ausgabe/download

AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN: "föderal erneuerbar - Datenblatt Geothermie Niedersachsen"; Zugriff am 08.03.2015.
http://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/NI/kategorie/erdwaerme/ausgabe/download

AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN: "föderal erneuerbar - Datenblatt Solar Deutschland"; Zugriff 02.03.2018
https://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/D/kategorie/solar/ausgabe/download

AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN: "föderal erneuerbar - Datenblatt Wasserkraft Niedersachsen"; Zugriff 03.03.2018.
https://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/D/kategorie/wasser/ausgabe/download

AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN: "föderal erneuerbar - Datenblatt Wind Deutschland"; Zugriff 03.03.2018.
https://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/D/kategorie/wind/ausgabe/download

AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (2013): "Forschungsradar Erneuerbare Energien - Studienvergleich: Die Auslastung von Kraftwerken im Zuge der Energiewende"; Zugriff 05.02.2015.
http://www.forschungsradar.de/uploads/media/AEE_Dossier_Studienvergleich_Volllaststunden_juli13.pdf

AGEB - ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN e. V. (November 2013): "Anwendungsbilanzen für die Energiesektoren in Deutschland in den Jahren 2011 und 2012 mit Zeitreihen von 2008 bis 2012".
http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_endbericht_anwendungsbilanzen_2011-2012_endg.pdf

AGEB - ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN e. V. (2014): "Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2012". Stand 12.07.2014.
http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=bilanz12d.xlsx

AGORA ENERGIEWENDE (2013): "Entwicklung der Windenergie in Deutschland". Studiendurchführung Fraunhofer IWES. Zugriff am 23.04.2015
http://www.agora-energiewende.de/service/publikationen/publikation/pub-action/show/pub-title/entwicklung-der-windenergie-in-deutschland/

AIRBUS OPERATIONS (Hrsg.), 3N-KOMPETENZZENTRUM, KRALEMANN M. (2014): "Nachhaltige Biokerosin-Produktion auf Basis von Biogas aus unterschiedlichen Quellen in der südlichen Metropolregion Hamburg/Niedersachsen (Biogas-to-Kerosene).

ALPHA VENTUS (2012): "FACT-SHEET alpha ventus".
http://www.alpha-ventus.de/fileadmin/user_upload/av_Factsheet_de_Dez2012_2.pdf

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR SPARSAMEN UND UMWELTFREUNDLICHEN ENERGIEVERBRAUCH e. V. (2011): "BHKW-Kenndaten 2011". Zugriff am 06.03.2015."
http://asue.de/cms/upload/broschueren/2011/bhkw-kenndaten/asue-bhkw-kenndaten-0311.pdf

45 BAYRISCHE LANDESANSTALT FÜR WEINBAU UND GARTENBAU (2013): "Wildpflanzen als Biogassubstrat"; Fachvortrag Dr. Birgitt Vollrath zum Projekt 'Energie aus Wildpflanzen'. Zugriff am 13.02.2014.

46 http://www.bioenergie-wendland-elbetal.de/fileadmin/bilder/Vortr%C3%A4ge/Retmar_Vollrath_09.08.2013_Kurzversionpdf.pdf

47

48 BEKW Bioenergiekraftwerk Emsland GmbH, Bioenergiekraftwerk - Kenndaten. Internetauftritt, Zugriff am 03.03.2018.

49 http://www.bioenergie-emsland.de/index.php/bioenergiekraftwerk/kenndaten

50

51 Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung; Datenbank Naturwaldreservate - Übersicht über die Flächen. Stand 26.02.2018. Zugriff: 02.03.2018.

52 https://www.naturwaelder.de/index.php?tpl=nwr_flaechen

53

54 BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT BMEL (Oktober 2014): "Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur". Zugriff 11.08.2015.

55 https://bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Dokumente/Downloads/BMEL_Wald_Broschuere.pdf

56

57 BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT BMU (Hrg.), DLR, FRAUNHOFER IWES, IFNE (2012) "Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global" (Leitstudie 2011 - Schlussbericht an das BMU). Zugriff am 29.03.2015.

58 http://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/bilder/portal/portal_2012_1/leitstudie2011_bf.pdf

59

60 BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT BMU (2007) "Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt". Zugriff am 29.03.2015.

61 http://www.biologischevielfalt.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere_biolog_vielfalt_strategie_bf.pdf

62

63 BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2014): "Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und Internationale Entwicklung 2013". Zugriff am 05.02.2015.

64 http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/erneuerbare-energien-in-zahlen.pdf?__blob=publicationFile&v=5

65

66 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2016. Grafiken und Diagramme unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Stand Februar 2017.

67 https://www.bundesverband-bioenergie.de/application/files/8714/9129/3591/entwicklung_der_erneuerbaren_energien_in_deutschland_im_jahr_2016.pdf

68

69 BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (September 2017): "Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und Internationale Entwicklung 2016". Zugriff am 10.03.2018.

70 https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=8

71

72 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Marktanalyse Photovoltaik-Dachanlagen. 04.02.2015. Zugriff am 02.03.2018.

73 https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/marktanalyse-photovoltaik-dachanlagen.html

74

75 BUNDESVERBAND WÄRMEPUMPE e. V. (2014) Online-Portal: "Immer mehr Bauherren setzen auf Wärmepumpen". Zugriff am 07.03.2015.

76 http://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/article/immer-mehr-bauherren-setzen-auf-waermepumpe.html

77

78 BUNDESVERBAND WINDENERGIE e. V. / FRAUNHOFER IWES (2011): "Potenzial der Windenergienutzung an Land"; Langfassung; ISBN: 978 3 94257993.

79 http://www.wind-energie.de/shop-potenzial-der-windenergienutzung-land

80

81 Deutsche WINDGUARD: "STATUS DES OFFSHORE-WINDENERGIEAUSBAUS IN DEUTSCHLAND"; Varel, 2017, Zugriff am 03.03.2018.

D.9. Datenmodell Deutschland 100%EE' (180616) - Quellen

82 https://www.wind-energie.de/sites/default/files/attachments/page/offshore/20180117-factsheet-status-offshore-windenergieausbau-2017.pdf

83

84 DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR SOLARENERGIE DGS, Online-Portal ENERGYMAP (2015): "Niedersachsen". Zugriff am 03.03.2015.
85 http://www.energymap.info/energieregionen/DE/105/116.html

86

87 DEUTSCHE WINDGUARD (2014): "Ausbau der Offshore-Windenergie in Deutschland - in 2013 gehen 240 MW ans Netz"; Pressemitteilung vom 29.1.2014, Zugriff am 05.02.2015.
88 http://www.windguard.de/_Resources/Persistent/2a1574c37ee9b45a46c5755a5d3b0e18c19242cd/Pressemitteilung-Status-Offshore-2013-2014-01-29.pdf

89

90 ENERGIEAGENTUR NRW: "Online-Rechner Photovoltaik"; Zugriff am 30.01.2015.
91 http://www.energieagentur.nrw.de/photovoltaik/themen/online-rechner-photovoltaik-15111.asp

92

93 FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e. V. (2014): "Basisdaten Bioenergie Deutschland 2014". Zugriff 15.02.2015.
94 http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/a/basisdaten_9x16_2014_web_v02.pdf

95

96 FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e. V. (2017): "Basisdaten Bioenergie Deutschland 2017". Zugriff 10.03.2018.
97 http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/broschuere_basisdaten_bioenergie_2017_2.pdf

98

99 FAULSTICH, Prof. Dr.-Ing. Martin, et. al. (2016): "Szenarien zur Energieversorgung in Niedersachsen im Jahr 2050". Gutachten im Auftrag NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ.
100 http://www.umwelt.niedersachsen.de/themen/energie/rundertisch/runder-tisch-142928.html

101

102 FORSCHUNGSVEREINIGUNG VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINEN e. V. (2013): "Zukünftige Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren und Gasturbinen". Zugriff am 13.04.2015.
103 http://www.fvv-net.de/cms/upload/Download/FVV-Kraftstoffstudie_LBST_2013-10-30.pdf

104

105 FÖRDERGESELLSCHAFT WINDENERGIE UND ANDERE ERNEUERBARE ENERGIEN FGW e. V. (2015): "Veröffentlichung der EEG-Referenzerträge". Exemplarisch wurde die Tabelle der ENERCON-Anlagen genutzt. Zugriff am 23.04.2015.
106 http://www.wind-fgw.de/eeg_referenzertrag.htm

107

108 FRAUNHOFER ISE (2011) "Wärmepumpen Effizienz - Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Anlalyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb". Kurzfassung.
109 http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de/download/wp_effizienz_endbericht_kurzfassung.pdf

110

111 FRAUNHOFER IWES (2013): "Energiewirtschaftliche Bedeutung der Offshore-Windenergie"; Zugriff am 05.02.2015.

112 https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschungsthemen/energie/Energiewirtschaftliche-Bedeutung-von-Offshore-Windenergie.pdf

113

114 FRAUNHOFER IWES (2013): "Geschäftsmodell Energiewende"; Zugriff am 30.03.2015.
115 http://www.energie.fraunhofer.de/de/bildmaterial/pdf/studie-geschaeftsmodell-energiewende.pdf

116

117 GMELIN T. C., HÜTTING G., LEHMANN O. (2008): "Zusammenfassende Darstellung der Effizienzpotenziale bei Flugzeugen unter besonderer Berücksichtigung der aktuellen Triebwerkstechnik sowie der absehbaren mittelfristigen Entwicklungen". Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Zugriff am 01.04.2015.
118 http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/workshop_effizienz_flugverk_studie.pdf

119

120 HORLACHER Prof. H.-B. (2003): "Globale Potenziale der Wasserkraft" - Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 'Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit'"; Zugriff am 11.02.2015.

121 http://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu.de/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2003/wbgu_jg2003_ex03.pdf

122

123 IFEU - INSTITUT FÜR ENERGIIE- UND UMWELTFORSCHUNG (2008): "Nachhaltig nutzbares Getreidestroh in Deutschland". Zugriff 16.02.2015.
124 http://www.ifeu.de/landwirtschaft/pdf/IFEU%20-%20Positionspapier%20Stroh.pdf

125

126 IFEU, FRAUNHOFER ISI, GWS, PROGNOS (2009): "Potenziale und volkswirtschaftliche Effekte einer ambitionierten Energieeffizienzstrategie für Deutschland". Gefördert durch BMU.
127 http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/Klimaschutz_Energieeffizienz_undBeschaeftigung.pdf

128

129 IFEU, FRAUNHOFER, ISI, PROGNOS, GWS et al. (2011): "Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative". Endbericht. Gefördert durch BMU.
130 https://www.ifeu.de/energie/pdf/NKI_Endbericht_2011.pdf

131

132 JAHNKE K., CO2ONLINE (2014): "Trendreport Energie 1". Zugriff am 15.03.2015.
133 http://www.co2online.de/service/publikationen/trendreport-energie/heizenergieverbrauch/

134

135 JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT (2012): "Kurzumtriebsplantagen aus ökologischer und ökonomischer Sicht". Zugriff 16.02.2015.
136 http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/bitv/dn050857.pdf

137

138 JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT (Hg. 2012): "Thünen-Report 17 - Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 - 2012". Zugriff 25.02.2015.
139 http://www.ti.bund.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen-Report_17.pdf

140

141 Johann Heinrich von Thünen-Institut; Dritte Bundeswaldinventur (2012) - Online-Datenbank. Zugriff: März 2018.

142 https://bwi.info/start.aspx

143

144 KALTSCHMITT M., STREICHER W., WIESE A. (2006): "Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte".

145

146 Krug Andreas, Klittig Hagen; Natürliche Waldentwicklung in Deutschland - Ziele und Instrumente. Präsentation. Ebrach, 29.-30.06.2012.
147 http://docplayer.org/13519950-Natuerliche-waldentwicklung-in-deutschland.html

148

149 LANDKREIS OSNABRÜCK (2012): "Solardachkataster"; Zugriff am 24.10.2014.
150 http://www.solardachkataster-lkos.de/#!menubar/stats.html

151

152 Müller-Syring Gert et. al; Metastudie zur Untersuchung der Potenziale von Wasserstoff für die Integration von Verkehrs- und Energiewirtschaft. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. Bonn, Oktober 2015.

153 https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/forschung/berichte/g201415.pdf

154

155 NETZ-TRANSPARENZ.DE (Internetplattform der deutschen Übertragungsnetzbeteriber: 50HERTZ, AMPRION, TENNET, TRANSNET BW) (2015): "EEG-Anlagenstammdaten Gesamtdeutschland zur Jahresabrechnung 2013". Zugriff am 02.04.2015.
156 http://www.netztransparenz.de/de/Anlagenstammdaten.htm

157

158 NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTEN (201?) "Waldschutz in niedersächsischen Wäldern - Naturwälder". Online-Veröffentlichung, Zugriff am 29.03.2015.
159 http://www.landesforsten.de/Naturwaelder.2131.98.html

160

161 NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (November 2013): "Bundesziel wird derzeit verfehlt - Beitrag für biologische Vielfalt". Zugriff am 29.03.2015.

162 http://www.ml.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=1810&article_id=118824&_psmand=7

163

164 NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2014): "Der Wald in Niedersachsen - Ergebnisse der Bundeswaldinventur 3". Zugriff am 15.02.2015.

165 http://www.ml.niedersachsen.de/download/90884/Download_Broschuere_Der_Wald_in_Niedersachsen_Ergebnisse_der_Bundeswaldinventur_3.pdf

166

167 NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (November 2014): "Die niedersächsische Landwirtschaft in Zahlen 2014". Zugriff am 27.02.2015.

168 http://www.ml.niedersachsen.de/download/91912/Die_niedersaechsische_Landwirtschaft_in_Zahlen_2014.pdf

169

170 NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (06.08.2015): Hinweise Herr Dr. Höher.

171

172 NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ (2014): Online-Portal "Umweltbericht - Erneuerbare Energien". Zugriff am 07.03.2015.

173 http://www.umwelt.niedersachsen.de/umweltbericht/nutzungsfelder/energie/stand_und_entwicklung/erneuerbare_energien/erneuerbare-energien--89139.html

174

175 NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ (2015): "Stellungnahmen und Anmerkungen der Mitglieder des Runden Tisches zum Szenario 1 des Gutachtens Energieszenarien 2050". Online-Portal, Zugriff 11.08.2015.

176 http://www.umwelt.niedersachsen.de/energie/rundertisch/dokumente/stellungnahmen-135092.html

177

178 NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND KLIMASCHUTZ (2011): Online-Portal "Abschlussbericht des Arbeitskreises Flächenverbrauch und Bodenschutz". Zugriff am 07.03.2015.

179 http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/62952/Abschlussbericht_Flaechenverbrauch_und_Bodenschutz_Dez._2011_.pdf

180

181 PROGNOS, SEEFELD F. et al (2007).; "Endbericht 18/06 - Potenziale für Energieeinsparung und Energieeffizienz im Lichte aktueller Preisentwicklungen"; Forschungsbericht für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie von prognos, progtrans und basics; 31.08.2007. Zugriff am 24.02.2015.

182 http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/prognos_Effizienzpotenzial_070915_final.pdf

183

184 R2B ENERGY CONSULTING GMBH (2013): "Jahresprognose 2014 und Mittelfristprognose bis 2018 zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus EEG geförderten Kraftwerken"

185 https://www.netztransparenz.de/de/file/r2b_EEG_Mittelfristprognose_11112013.pdf

186

187 RÜTHER B. et.al., NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT (2007): "Clusterstudie Forst und Holz Niedersachsen". Zugriff 15.02.2015.

188 http://www.ml.niedersachsen.de/download/3458

189

190 Scharpf, Thomas, Energiebetrachtung zu Brennstoffzellen und Wasserstoff. IFEU Interessengemeinschaft zur Förderung der Elektromobilität im Unterallgäu. 1. November 2017.

191 http://www.i-feu.de/I-FEU/Podcast/5B301566-15A0-460E-9BF0-71A5C655BBB4.html

192

193 SCHMIDT-KANEFENDT, H.-H. (2013): "Basisdaten allgemein für 100%-Szenarien".

194 http://skn.privat.t-online.de/wattweg/media/files/BA130306.pdf

195

196 SCHMIDT-KANEFENDT, HANS-HEINRICH (2013): "Holz - Basisdaten für 100%-Szenarien" (130306).

197 http://skn.privat.t-online.de/wattweg/media/files/Ho130306.pdf

198

199 Schmidt-Kanefendt Hans-Heinrich, Struktur der Biogasgewinnung. Online gestellt am 03.03.2018.
200 http://skn.privat.t-online.de/wattweg/media/files/StrukturWindenergieAnlagenbestand.pdf
201
202 Schmidt-Kanefendt Hans-Heinrich, Struktur des Windenergie-Anlagenbestandes. Online gestellt am 03.03.2018.
203 http://skn.privat.t-online.de/wattweg/media/files/StrukturWindenergieAnlagenbestand.pdf
205 STADTWERKE LEIPZIG (2009): "Holzlogistik - Transport von Energieholz bei den Stadtwerken Leipzig". Zugriff 16.02.2015.
206 http://www.holzlogistik.iff.fraunhofer.de/media/pdf/2009/4.pdf
207
208 STATISTA - STATISTIKPORTAL (2015): "Anteil der Wirtschaftsbereiche am Bruttoinlandsprodukt (BIP)* in Deutschland im Jahr 2014 ". Zugriff am 01.03.2015.
209 http://de.statista.com/statistik/daten/studie/36846/umfrage/anteil-der-wirtschaftsbereiche-am-bruttoinlandsprodukt/
210
211 STATISTA - STATISTIKPORTAL (2015): "Bruttoinlandsprodukt (BIP) je Einwohner in Deutschland von 1991 bis 2014". Zugriff am 01.03.2015.
212 http://de.statista.com/statistik/daten/studie/1252/umfrage/entwicklung-des-bruttoinlandsprodukts-je-einwohner-seit-1991/
213
214 STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER: "Regionaldatenbank Deutschland"; Online-Angebot GENESIS.
215 https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/logon
216
217 Statistisches Bundesamt (DESTATIS); Land- und Forstwirtschaft, Fischerei - Bodennutzung der Betriebe 2017. Fachserie 3 Reihe 2.1.2. 20.11.2017.
218 https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/FeldfruechteGruenland/FeldfruechteGruenland.html#Tabellen
219
220 STATISTISCHES BUNDESAMT (2015): "12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung". Zugriff am 13.02.2015.
221 https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Bevoelkerungsvorausberechnung.html
222
223 STATISTISCHES BUNDESAMT (2015): "13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung - aktualisierte Variante 2-A (Basis 2015) ".
Zugriff am 28.02.2018.
224 https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Tabellen/2015_2A_AltersgruppenBis2060_.html
225
226 TAB - BÜRO FÜR TECHNOLOGIEFOLGEN-ABSCHÄTZUNG BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG (Hrg.), PASCHEN H., OERTEL D., GRÜNWALD R. (2003): "Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland". TAB-Bericht 84. Zugriff am 08.03.2015.
227 http://www.geothermie.de/fileadmin/uploads/Service/Publikationen/Tab84.pdf
228
229 TRETTER H. (2010): "Schweden - Biogas als leitungsbebundener Energieträger und Kraftstoff für Fahrzeuge". Zugriff am 11.03.2010.
230
231 UMWELTBUNDESAMT (2014): "Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050". Zugriff am 29.03.2015.
232 http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050-0
233
234 UNITED NATIONS (DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION 2013): "Prognose zur Entwicklung der Weltbevölkerung bis 2100". Zugriff über Portal 'statista' am 20.02.2015.
235 http://de.statista.com/statistik/daten/studie/1717/umfrage/prognose-zur-entwicklung-der-weltbevoelkerung/
236
237 VDE (2008): „Effizienz- und Einsparpotentiale elektrischer Energie in Deutschland“.
238 http://en-q.de/media/links/VDE_Effizienz-_und_Einsparpotentiale_in_Deutschland.pdf

D.9. Datenmodell Deutschland 100%EE' (180616) - Quellen

239

240 VERBAND DEUTSCHER VERKEHRSUNTERNEHMEN e.V. (2014): "2013 Statistik"; Zugriff 23.02.2015.

241 https://www.vdv.de/statistik-2013.pdfx?forced=true

242

243 WAGNER U., DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT e. V. / TU MÜNCHEN (2012): "Energieeffizienz durch Elektromobilität". Zugriff am 02.04.2015.

244 https://www.vde.com/de/regionalorganisation/bezirksvereine/suedbayern/facharbeit%20regional/akenergietechnik/documents/vortrag%2015112012%20elektromobilit%C3%A4t%20und%20energieeffizienz.pdf

245

246 WIRTH, Dr. Harry, FRAUNHOFER ISE (2012): "Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland".

247 http://www.zsd-solar.de/wp-content/uploads/2013/02/Fakten-zur-PV-Fraunhofer-ISE-120202.pdf

248

249 WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER (2015): "Biokraftstoff Ethanol". Zugriff am 06.03.2015.

250 http://www.zuckerverbaende.de/ruebe-zucker/bioethanol.html

251

252 WWF DEUTSCHLAND (Hrg.), ÖKO-INSTITUT, PROGNOS (2009): "Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken".

253 http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Modell_Deutschland_Endbericht.pdf