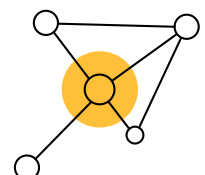
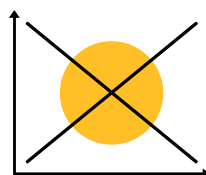
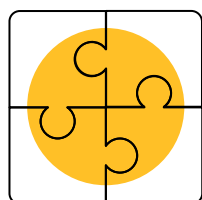
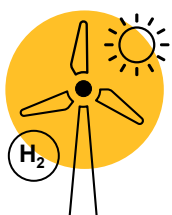


Dokumentation EWI Merit-Order Tool 2022

v2022_Nov.0

November 2022



**Energiewirtschaftliches Institut
an der Universität zu Köln gGmbH (EWI)**

Alte Wagenfabrik
Vogelsanger Straße 321a
50827 Köln

Tel.: +49 (0)221 277 29-100

Fax: +49 (0)221 277 29-400

<https://www.ewi.uni-koeln.de>

Verfasst von

Fabian Arnold

David Schlund

Dr. Eren Çam

Konstantin Gruber

Jakob Junkermann

Philipp Artur Kienscherf

Bitte zitieren als

EWI (2022): Merit Order Tool 2022 November - Dokumentation

Das Energiewirtschaftliche Institut an der Universität zu Köln (EWI) ist eine gemeinnützige GmbH, die sich der anwendungsnahen Forschung in der Energieökonomik und Energie-Wirtschaftsinformatik widmet und Beratungsprojekte für Wirtschaft, Politik und Gesellschaft durchführt. Annette Becker und Prof. Dr. Marc Oliver Bettzüge bilden die Institutsleitung und führen ein Team von mehr als 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das EWI ist eine Forschungseinrichtung der Kölner Universitätsstiftung. Neben den Einnahmen aus Forschungsprojekten, Analysen und Gutachten für öffentliche und private Auftraggeber wird der wissenschaftliche Betrieb finanziert durch eine institutionelle Förderung des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (MWIDE). Die Haftung für Folgeschäden, insbesondere für entgangenen Gewinn oder den Ersatz von Schäden Dritter, ist ausgeschlossen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Das EWI Merit-Order Tool 2022	4
2	Anwenderhandbuch	6
2.1	Anleitung	6
2.2	Start	6
2.3	Merit-Order	7
2.4	Kraftwerksliste.....	8
3	Methodik und Datendokumentation	10
3.1	Methodik zur Berechnung der Grenzkosten und der verfügbaren Nettokraftwerksleistung.....	10
3.2	Datengrundlage für Standardwerte und Annahmen.....	11
3.2.1	Brennstoffpreise und Emissionszertifikatspreis	11
3.2.2	Transportkosten	12
3.2.3	Sonstige variable Kosten	12
3.2.4	Kraftwerks-Nicht-Verfügbarkeit.....	13
3.2.5	Emissionsfaktoren	13
3.3	Kritische Diskussion	15
3.4	Anpassungen gegenüber dem EWI Merit-Order Tool Version 2022.0.....	17
	Literaturverzeichnis	20
	Tabellenverzeichnis	21
	Abbildungsverzeichnis.....	22

1 Einleitung: Das EWI Merit-Order Tool 2022

Die Merit-Order

Als Merit-Order wird die Einsatzreihenfolge der an der Strombörse anbietenden Kraftwerke bezeichnet. Sie orientiert sich dabei an den Grenzkosten der Kraftwerke. Diese werden aufsteigend sortiert. Es handelt sich dabei um eine Annäherung an die tatsächlichen Angebotskurven bspw. der Day-Ahead Auktion an der Strombörse. Die mittlere Merit-Order des deutschen Kraftwerksparks gibt einen guten Überblick über den aktuellen Kraftwerkspark und die Verhältnisse der Grenzkosten der Kraftwerke unter gegebenen Bedingungen. Die Merit-Order wird dabei insbesondere vom Kraftwerkspark und den zugrundeliegenden Brennstoffpreisen und Emissionszertifikatspreisen beeinflusst. Weitere Einflussgrößen sind die elektrischen Wirkungsgrade der Kraftwerke, durchschnittliche Ausfallwahrscheinlichkeiten, sonstige variable Betriebskosten und Transportkosten der Brennstoffe.

Das EWI Merit-Order Tool 2022

Das EWI Merit-Order Tool 2022 ermöglicht die Bestimmung und grafische Repräsentation der mittleren Merit-Order des konventionellen Kraftwerksparks 2022. Der angenommene Kraftwerkspark basiert auf der Kraftwerkliste der Bundesnetzagentur (BNetzA, 2022). Darauf aufbauend wurden die einzelnen Kraftwerksblöcke der jeweiligen Erzeugungstechnologie zugeordnet und mithilfe zusätzlicher Quellen für jeden Block der elektrische Wirkungsgrad (Effizienz) festgelegt. Um die durchschnittliche Merit-Order des konventionellen Kraftwerksparks 2022 (Januar-Oktober) abzubilden, wurden Standardannahmen für die weiteren Parameter (Brennstoffpreis, Emissionszertifikatspreis, Transportkosten, sonstige variable Kosten, Nicht-Verfügbarkeiten und Emissionsfaktoren) festgelegt.

Die Nutzer*innen können die der Merit-Order zugrundeliegenden Annahmen variieren, um den Effekt veränderter Brennstoffpreise oder anderer Annahmen auf die Merit-Order zu untersuchen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit Kraftwerke aus der Merit-Order zu entfernen oder hinzuzufügen. Die Nutzer*innen können damit den Einfluss von Kraftwerkstilllegungen oder -zubauten auf die Merit-Order analysieren und visualisieren. Als Standardeinstellung wird nur die Merit-Order der konventionellen Kraftwerke ausgegeben. Um die Merit-Order in Abhängigkeit konkreter Einspeisesituationen erneuerbarer Energien (EE) Anlagen abzubilden kann außerdem eine Annahme zur verfügbaren EE-Leistung getroffen werden.

Das EWI Merit-Order Tool kann dazu genutzt werden, den Einfluss der einzelnen Parameter auf die Angebotskurve an der Strombörse auf interaktive Weise zu beleuchten. Dabei können durch Variation der Einflussgrößen sowohl die mittlere Merit-Order für bestimmte Zeiträume aber auch die Merit-Order für spezifische Situationen definiert werden. Aufgrund der verschiedenen Funktionalitäten und Anpassungsmöglichkeiten können mithilfe des EWI Merit-Order Tools

allerdings auch tiefgreifende Analysen und Untersuchungen vorgenommen werden. Beispielhafte Themenkomplexe umfassen den Einfluss von Änderungen der Brennstoffpreise oder des Emissionszertifikatspreises oder die Veränderung der Merit-Order durch Kraftwerksstillegungen und -zubauten.

2 Anwenderhandbuch

Im Folgenden wird ein Überblick über die Bedienung des Merit-Order Tools gegeben. Konkret werden pro Tabellenblatt mögliche Eingaben, die Funktionen von Schaltflächen und deren mögliche Anwendung in beispielhaften Kontexten erläutert.

Das Tool selbst basiert auf Microsoft Excel und wurde mit *Microsoft 365* erstellt. Um den vollen Umfang der Funktionalitäten des Tools nutzen zu können müssen Makros zugelassen werden.

2.1 Anleitung

In diesem Tabellenblatt wird ein grober Überblick über das Tool und die einzelnen Funktionalitäten gegeben. Neben einleitenden Texten zur Merit-Order, dem Merit-Order Tool und den einzelnen Tabellenblättern existieren drei Schaltfläche (*Start*, *Merit-Order* und *Kraftwerkliste*) als direkte Verweise zu den gleichnamigen Tabellenblättern.

2.2 Start

Das Blatt *Start* enthält alle Annahmen zu Werten von Variablen, die in die Berechnung der Merit-Order miteinbezogen werden. Diese sind in sechs Tabellen zusammengefasst. Konkret handelt es sich bei den Parametern, deren Werte hier definiert werden, um die Brennstoffkosten und Transportkosten aller konventionellen Brennstoffe (in EUR/MWh_{th}), den Emissionszertifikatspreis (in EUR/tCO_2), die sonstigen variablen Kosten (in EUR/MWh_{th}), die durchschnittliche Nicht-Verfügbarkeit der verschiedenen Kraftwerkstypen (in %) und die Emissionsfaktoren der Brennstoffe (in tCO_2/MWh_{th}). Außerdem wird eine Annahme zur verfügbaren EE-Leistung getroffen. Da in der Standardkonfiguration die mittlere Merit-Order der konventionellen Kraftwerke 2022 ermittelt werden soll, ist dieser Wert mit 0 MW definiert.

Die angenommenen Werte der Variablen (weiße Zellen) können beliebig angepasst werden. Dadurch kann bspw. der Einfluss veränderter Brennstoff- oder Emissionszertifikatspreise auf die Merit-Order untersucht werden. Die Standardwerte sollen die mittlere Merit-Order des Jahres 2022 annähern. Die Quellen der Standardwerte sind jeweils ausgewiesen. Über die Schaltfläche *Annahmen zurücksetzen* können die Werte der Variablen auf die Standardwerte zurückgesetzt werden.

Basierend auf den angenommenen Werten der Variablen und basierend auf der Kraftwerkliste wird die Verteilung der Grenzkosten der Kraftwerke als Boxplot visualisiert. Diese Darstellung der Verteilung der Grenzkosten kann einen ersten Eindruck vermitteln, welche Effekte Veränderungen der Annahmen auf die Merit-Order haben. Abbildung 1 stellt eine solche Grafik

beispielhaft dar. Für jede Kraftwerkstechnologie wird ein Boxplot erstellt. Die beiden Antennen der Boxen geben die minimalen bzw. maximalen Grenzkosten eines Kraftwerks der entsprechenden Kraftwerkstechnologie an. Das obere Ende der Box entspricht dem oberen Quartil der Grenzkosten und das untere Ende der Box dem unteren Quartil.¹ Die Linie in der Mitte der Box bildet den Median ab.

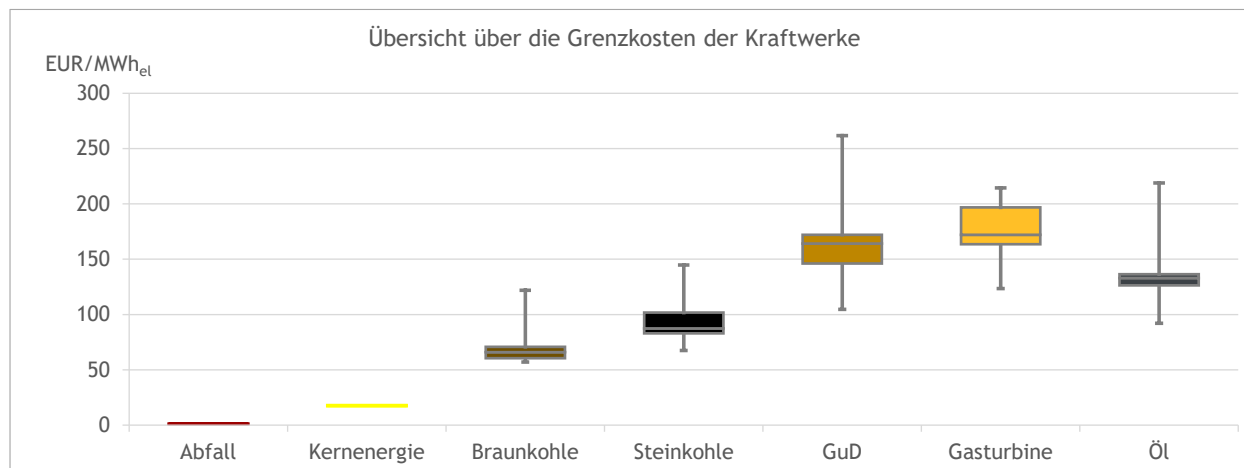


Abbildung 1: Boxplot der Verteilung der Grenzkosten

Quelle: Eigene Darstellung

Um die neue Merit-Order (siehe Tabellenblatt *Merit-Order*) berechnen zu lassen, muss auf die Schaltfläche *Aktualisiere Merit-Order* geklickt werden.

2.3 Merit-Order

Im Tabellenblatt *Merit-Order* wird die Merit-Order visualisiert. Die Darstellung gibt die Merit-Order blockscharf wieder. Dabei werden die einzelnen Kraftwerkstypen farblich kenntlich gemacht. Beispielhaft ist diese Visualisierung in Abbildung 2 dargestellt. Zusätzlich wird die Merit-Order als nach Grenzkosten sortierte Liste der Kraftwerksblöcke dargestellt. In dieser Tabelle kann, neben der Kraftwerksnummer des Kraftwerks/Blocks, auch dessen Jahr der Inbetriebnahme, der Kraftwerkstyp, die durchschnittliche und kumulierte verfügbare Nettoleistung und die Grenzkosten abgelesen werden. Die Merit-Order wird bei Aktivierung der Schaltfläche *Merit-Order aktualisieren* neu berechnet.

¹ Als unteres Quartil wird das 0,25 Quantil bezeichnet; als oberes Quartil wird das 0,75 Quantil bezeichnet.

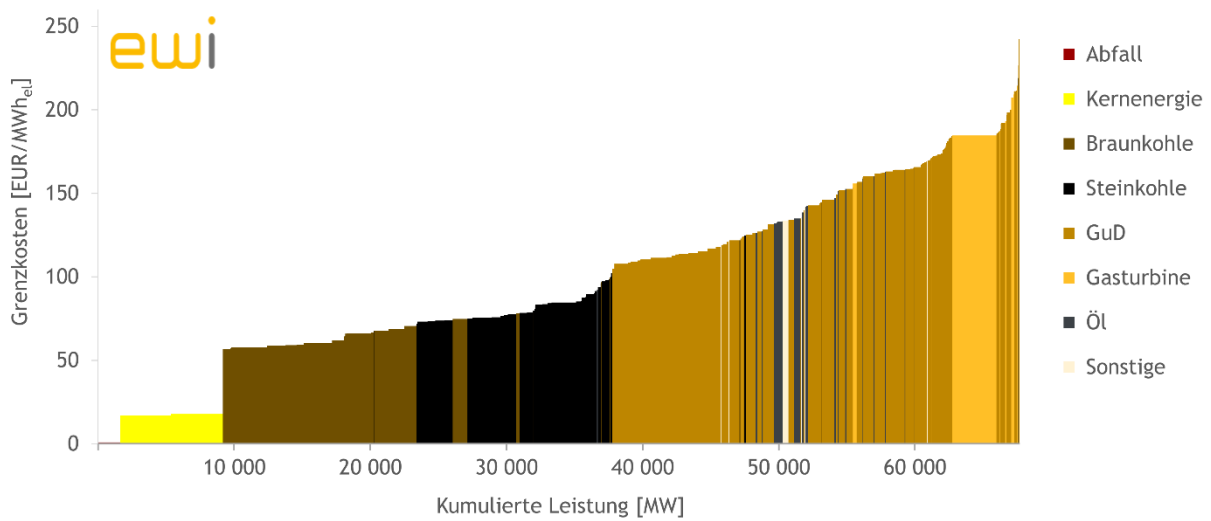


Abbildung 2: Beispielhafte Merit-Order
Quelle: Eigene Darstellung

2.4 Kraftwerksliste

Im Tabellenblatt *Kraftwerksliste* werden alle Informationen zu den in der Merit-Order berücksichtigten Kraftwerken zusammengefasst. Der angenommene Kraftwerkspark basiert auf der Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur (BNetzA, 2022). Darauf aufbauend wurden die einzelnen Kraftwerksblöcke der jeweiligen Erzeugungstechnologie zugeordnet und mithilfe zusätzlicher Quellen für jeden Block der elektrische Wirkungsgrad (Effizienz) festgelegt. Eine freie Modifizierung der Kraftwerksliste ist möglich. Für jeden Kraftwerksblock kann in der Spalte *C Teil der Merit-Order?* festgelegt werden, ob der entsprechende Block in der Merit-Order berücksichtigt werden soll. So besteht beispielsweise die Möglichkeit, Veränderungen des Kraftwerksparks durch Kraftwerksstilllegungen und deren Einfluss auf die Merit-Order zu untersuchen. Die Stein- und Braunkohle Kraftwerke, die im Zuge der Energiekrise 2022 an den Markt zurückkehren, sind mit Daten hinterlegt und können der Merit-Order hinzugefügt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit der Merit-Order neue Kraftwerksblöcke hinzuzufügen. Dafür sind die 10 weiß hinterlegten Zeilen vorgesehen. Die mit *notwendig* gekennzeichneten Zellen müssen dabei ausgefüllt werden, um die Merit-Order korrekt zu berechnen. Um ein neues Kraftwerk in die Merit-Order aufzunehmen, muss außerdem in der entsprechenden Zeile in Spalte *C Teil der Merit-Order?* „Ja“ eingetragen werden. Veränderungen an der Kraftwerksliste werden durch Aktivierung der Schaltfläche *Aktualisiere Merit-Order* in die Merit-Order übernommen. Wurde bei einem Kraftwerk in Spalte *C Teil der Merit-Order?* „Ja“ eingetragen aber gleichzeitig als notwendig markierte Felder für dieses Kraftwerk nicht ausgefüllt, wird die Fehlermeldung entsprechend Abbildung 3 ausgegeben.

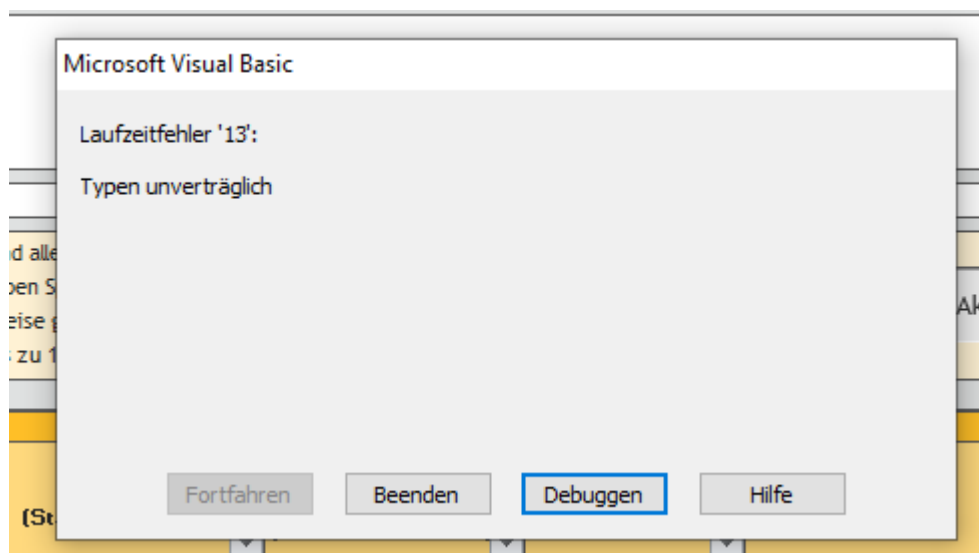


Abbildung 3: Fehlermeldung wenn notwendige Kraftwerksdaten neuer Kraftwerke nicht ausgefüllt werden

3 Methodik und Datendokumentation

3.1 Methodik zur Berechnung der Grenzkosten und der verfügbaren Nettokraftwerksleistung

In der Merit-Order werden die Grenzkosten der Kraftwerksblöcke in aufsteigender Reihenfolge sortiert. Wie in Formel (1) dargestellt, berechnen sich die Grenzkosten GK (in EUR/MWh_{el}) eines Kraftwerks aus den durchschnittlichen Brennstoffpreisen (inkl. Transportkosten) (in EUR/MWh_{th}) dividiert durch die Effizienz des Kraftwerkes η (in MWh_{el}/MWh_{th}). Hinzu kommen die Kosten für Emissionszertifikate, die sich aus dem durchschnittlichen Zertifikatspreis EUA (in EUR/tCO_2)², den spezifischen Emissionen des Kraftwerks (in tCO_2/MWh_{th}) und der Effizienz des Kraftwerks η ergeben. Dazu kommen sonstige variable Betriebskosten der jeweiligen Anlagen.

$$GK = \frac{\text{Brennstoffpreis}}{\eta} + EUA * \frac{\text{spez. Emissionsfaktor}}{\eta} + \text{var. Betriebskosten} \quad (1)$$

Für jeden Kraftwerksblock ist die Netto-Kraftwerksleistung P_{Netto} (in GW) bekannt. Kraftwerks-Nichtverfügbarkeiten, z.B. aufgrund von Revisionen und nicht geplanter Ausfälle, reduzieren die Nettoleistung eines Kraftwerksblocks. Entsprechend Formel (2) kann die durchschnittliche verfügbare Netto-Kraftwerksleistung $P_{Netto,verfügbar}$ (in GW) für jeden Kraftwerksblock mithilfe der durchschnittlichen Ausfallwahrscheinlichkeit $p_{Ausfall}$ (in %) des jeweiligen Kraftwerkstyps abgeschätzt werden.

$$P_{Netto,verfügbar} = P_{Netto} * (1 - p_{Ausfall}) \quad (2)$$

Die durchschnittliche Merit-Order des betrachteten Zeitraums ergibt sich dann durch die Sortierung der durchschnittlich verfügbaren Kraftwerksleistungen entsprechend ihren Grenzkosten.

² EUA = European Emission Allowances

3.2 Datengrundlage für Standardwerte und Annahmen

3.2.1 Brennstoffpreise und Emissionszertifikatspreis

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die als Standardwerte angenommenen Brennstoffpreise sowie die dazugehörigen Quellen. Für Steinkohle, Erdgas und Öl wurde der Mittelwert von Januar-Oktober 2022 berechnet. Dabei wurde der Preis für Steinkohle im Oktober 2022 basierend auf dem Preis im September 2022 geschätzt. Für Kraftwerksblöcke des Typs „Sonstige“ wurde der Ölpreis als Brennstoffpreis angenommen. Falls notwendig wurde der Umrechnungskurs 0,95 USD/EUR für das Jahr 2022 angenommen (EZB, 2022).

Tabelle 1: Annahmen zu Brennstoffpreisen 2022

Brennstoff	Brennstoffpreis 2022 (Januar-Oktober) [EUR/MWh _{th}]	Quelle
Kernenergie	5,50	Eigene Annahme
Braunkohle	3,10	EWI (2019)
Steinkohle	41,20	API2 CIF ARA Durchschnitt
Erdgas	128,40	Spot TTF Durchschnitt ³
Öl	58,47	SDKW (2022)
Sonstige	58,47	Eigene Annahme
Abfall	0	Eigene Annahme

Braunkohle wird nicht auf Märkten gehandelt und die konkreten Brennstoffkosten unterscheiden sich zwischen den Tagebauen. Tabelle 2 gibt einen Überblick über Abschätzungen des durchschnittlichen Brennstoffpreises für Braunkohle in Deutschland in verschiedenen Studien und Gutachten. Der im EWI Merit-Order Tool 2022 angenommene Wert entspricht der Annahme aus EWI (2019).

³ Für den Gaspreis wurde der durchschnittliche TTF Spot Preis mit dem Faktor 1,11 multipliziert, um den Preis in Bezug auf den Heizwert zu erhalten.

Tabelle 2: Überblick Annahmen Brennstoffpreis Braunkohle

Gutachten/Studie	Brennstoffpreis Braunkohle [EUR/MWh _{th}]	Kommentar
BMWi (2014)	1,5	-
EWI (2019)	3,1	-
Sandbag (2019)	3,5	Neuanlagen
R2B (2019)	4,0	-
Sandbag (2019)	4,3	Altanlagen
Öko-Institut (2014)	6,1	-
ÜNB (2022)	3,0	-

Als mittlerer Emissionszertifikatspreis für 2022 wird der Mittelwert von Januar bis Oktober angenommen, dieser lautet 81,17 EUR/tCO₂ (Ember, 2022).

3.2.2 Transportkosten

Zusätzlich zu den Brennstoffkosten werden für jeden Brennstoff Transportkosten angenommen. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Standardannahmen für die mittlere Merit-Order 2022.

Tabelle 3: Annahmen zu Transportkosten 2022

Brennstoff	Transportkosten [EUR/WWh _{th}]	Quelle
Kernenergie	0	Eigene Annahme
Braunkohle	0	R2B (2019)
Steinkohle	1,25	R2B (2019)
Erdgas	0,5	R2B (2019)
Öl	0,3	R2B (2019)
Sonstige	0	Eigene Annahme
Abfall	0	Eigene Annahme

3.2.3 Sonstige variable Kosten

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die im EWI Merit-Order Tool 2022 als Standardwerte angenommen sonstigen variablen Kosten der Stromerzeugung. Dabei werden verschiedene Kraftwerkstypen unterschieden.

Tabelle 4: Annahmen zu sonstigen variablen Kosten 2022

Kraftwerkstyp	Sonstige variable Kosten [EUR/MWh _{el}]	Quelle
Kernenergie	1,2	Eigene Annahme
Braunkohle	1,7	R2B (2019)
Steinkohle	1,3	R2B (2019)
Erdgas, GuD	1,5	R2B (2019)
Erdgas, Gasturbine	1,0	R2B (2019)
Öl	1,0	Eigene Annahme
Sonstige	1,0	Eigene Annahme
Abfall	1,0	Eigene Annahme

3.2.4 Kraftwerks-Nicht-Verfügbarkeit

In Kapitel 3.1 wurde erläutert, wie, basierend auf der Annahme durchschnittlicher Ausfallwahrscheinlichkeiten, aus der Netto-Nennleistung eines Kraftwerksblocks die durchschnittlich verfügbare Nettonennleistung abgeschätzt wird. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die für die einzelnen Kraftwerkstypen angenommenen Nicht-Verfügbarkeiten. Die Annahmen basieren auf Erfahrungswerten der vergangenen Jahre und spiegeln nicht die realen Kraftwerksverfügbarkeiten des Jahres 2022 wider.

Tabelle 5: Annahmen zu Kraftwerks-Nicht-Verfügbarkeiten 2022

Kraftwerkstyp	Nicht-Verfügbarkeit [%]	Quelle
Kernenergie	7	Eigene Annahme
Braunkohle	13	Eigene Annahme
Steinkohle	20	Eigene Annahme
Erdgas, GuD	13	Eigene Annahme
Erdgas, Gasturbine	13	Eigene Annahme
Öl	15	Eigene Annahme
Sonstige	15	Eigene Annahme
Abfall	15	Eigene Annahme

3.2.5 Emissionsfaktoren

Zur Berechnung der in den Grenzkosten enthaltenen Kosten des Bezugs von Emissionszertifikaten wird für jeden Brennstoff ein Emissionsfaktor angenommen. Tabelle 6 gibt einen Überblick über

die angenommenen Emissionsfaktoren. Für Abfall wird ein Emissionsfaktor von $0 \text{ tCO}_2/\text{MWh}_{th}$ angenommen, da Müllverbrennungsanlagen vom europäischen Emissionshandel ausgenommen sind und daher keine Emissionszertifikate beziehen müssen (EU, 2010).

Tabelle 6: Annahmen zu Emissionsfaktoren 2022

Brennstoff	Emissionsfaktor [$\text{tCO}_2/\text{MWh}_{th}$]	Quelle
Kernenergie	0	Eigene Annahme
Braunkohle	0,4	ÜNB (2019)
Steinkohle	0,34	ÜNB (2019)
Erdgas	0,2	ÜNB (2019)
Öl	0,28	ÜNB (2019)
Sonstige	0,21	ÜNB (2019)
Abfall	0	Eigene Annahme

3.3 Kritische Diskussion

Wird das EWI Merit-Order Tool 2022 dazu verwendet die mittlere Merit-Order für einen Zeitraum (z.B. ein Jahr) zu ermitteln, kann es sich dabei immer nur um eine Näherung handeln. Die tatsächliche Merit-Order in einzelnen Stunden ergibt sich aus der Interaktion der Parameter untereinander, beispielsweise beeinflusst durch spezifische Ausfallsituationen in Kombination mit spezifischen Brennstoffpreisentwicklungen. Grundsätzlich ist jede getroffene Annahme für die einzelnen Parameter kritisch zu hinterfragen, um eine möglichst gute Annäherung der Merit-Order zu erreichen.

Die resultierende Merit-Order approximiert die am Markt beobachtbaren Angebotskurven und bildet die im Folgenden diskutierten Zusammenhänge am Strommarkt nicht ab. Im Folgenden werden diese Aspekte diskutiert. Dabei werden sowohl grundsätzliche Unterschiede zwischen der Merit-Order und der realen Angebotskurve, sowie spezifische Schwächen der im Zuge des EWI Merit-Order Modells 2022 angewandten Methode erläutert.

EE-Anlagen, die eine fixe EEG-Vergütung erhalten, speisen in das Netz ein, unabhängig davon, welcher Preis am Markt erzielt werden kann. Ähnliches gilt in abgeschwächter Form für EE-Anlagen, die mittels Marktprämie gefördert werden. Die Betreiber dieser Anlagen vermarkten ihre Anlagen eigenständig (oder über einen Direktvermarkter) an der Strombörse und erhalten zusätzlich eine Marktprämie. Für die EE-Anlagenbetreiber besteht aufgrund der Förderung ein Anreiz in der Day-Ahead Auktion Preise unter null zu bieten.⁴ Zudem sind konventionelle Kraftwerke, bspw. Braunkohlekraftwerke aufgrund technischer Restriktionen in ihrer Lastwechselgeschwindigkeit, mit der die Einspeiseleistung von einer Stunde auf die nächste variiert werden kann, beschränkt. Auch das Hochfahren einer Anlage aus dem kalten Zustand kann bspw. bei Braunkohlekraftwerken bis zu 10 Stunden dauern (Agora, 2017). Für die Betreiber dieser Anlagen kann es daher beispielsweise in Situationen niedriger Strompreise sinnvoll sein, Strompreise unterhalb der eigenen Grenzkosten zu bieten (auch unterhalb von null), um das vollständige Herunterfahren der Anlage zu vermeiden. In einer solchen Situation kann es zu negativen Strompreisen in der Day-Ahead Auktion kommen, welche durch das EWI Merit-Order Tool 2022 nicht erklärt werden können.

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) erzeugen neben Strom als zweites Endprodukt Wärme, die zum Beispiel in Nah- oder Fernwärmenetze zur Raumwärmenutzung in Haushalten oder als Prozesswärme in der Industrie genutzt wird. KWK-Anlagen haben damit eine andere Kostenstruktur als rein stromgeführte Kraftwerke und weisen ein anderes Bieterverhalten am Strommarkt auf. Die Merit-Order kann damit zwar die Optimierung von KWK-Anlagen entsprechend ihrer Stromerzeugung abbilden, vernachlässigt jedoch den kombinierten Einsatz der Kraftwerke für die Strom- und Wärmeerzeugung. Im EWI Merit-Order Tool 2022 werden KWK-Anlagen auf die gleiche Art und Weise abgebildet wie rein stromgeführte Kraftwerke. Das

⁴ Beispielsweise wenn die zu erwartende Marktprämie höher ist als die erzielten Verluste an der Strombörse. Diese Situation wird durch die „6-Stunden-Regelung“ des §51 EEG adressiert.

bedeutet, die in der Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur (BNetzA, 2022) aufgeführte elektrische Nettonennleistung wird für KWK-Anlagen als nicht anpassbar betrachtet. Zusätzlich wird der elektrische Wirkungsgrad als konstant angenommen.

Eine weitere Besonderheit stellen Speicher (z.B. Pumpspeicherkraftwerke, Großbatteriespeicher) dar, da sie je nach Großhandelsstrompreis als Erzeuger oder als Nachfrager in Erscheinung treten. So würde ein Speicherbetreiber in Stunden hoher Strompreise seinen Speicher entleeren (sofern Energie im Speicher enthalten ist) und damit als Erzeuger in der Merit-Order erscheinen. Im Gegensatz dazu würde ein Speicherbetreiber während niedriger Strompreise tendenziell als Nachfrager Strom konsumieren, um den Speicher mit Energie zu füllen. Entsprechend der Höhe der Großhandelsstrompreise sind Speicher also nur in gewissen Stunden Teil der Merit-Order. Bei statischer Betrachtung der Merit-Order wird dieses dynamische Verhalten unzureichend abgebildet. Im EWI Merit-Order Tool 2022 werden Speicher nicht abgebildet.

Im Zuge der bisherigen Diskussion der Merit-Order wurde der Einfluss der Nachbarländer Deutschlands auf die Bildung des deutschen Strompreises vernachlässigt. Zwischen dem deutschen Marktgebiet (inkl. Luxemburg) und den Marktgebieten der Nachbarstaaten existieren Übertragungskapazitäten, die es erlauben, in Deutschland produzierten Strom auch im Ausland zu verkaufen bzw. deutsche Stromnachfrage durch Stromimporte aus dem Ausland zu decken. Die Höhe der Strommengen, die im Ausland verkauft werden können, hängt von der Verfügbarkeit der transnationalen Übertragungskapazitäten ab. Die Höhe der Übertragungskapazität wird von den Übertragungsnetzbetreibern ermittelt und an die Strombörse übermittelt. Abhängig von den maximal verfügbaren Übertragungskapazitäten werden die Angebote der Marktteilnehmer an der Strombörse nicht national betrachtet, sondern zu grenzüberschreitenden Angebots- und Nachfragekurven aggregiert. Ziel dieser Marktkopplung ist es, die grenzüberschreitenden Übertragungskapazitäten möglichst effizient zu allokalieren. Beim Merit-Order Tool des deutschen Kraftwerkspark handelt es sich um eine von diesen Effekten auf die Preisbildung isolierte Betrachtung.

Gaskraftwerke wurden im Merit-Order Tool 2022 in die zwei Kategorien „GuD“ und „Gasturbine“ aufgeteilt. Dabei handelt es sich um eine rein indikative Zuordnung mit dem Ziel zwischen reinen Gasturbinen, die keine Wärme abführen und komplexeren/effizienteren Systemen zu unterscheiden. Als Gasturbinen kategorisiert wurden nur Einheiten des Typs „Gasturbine ohne Abhitzeessel“. Alle restlichen Gaskraftwerke (inklusive Verbrennungsmotoren) werden im Modell als GuD Kraftwerke bezeichnet. Die Zuordnung in Realität kann von den getroffenen Annahmen abweichen.

Für den Energieträger „Sonstige“ wurden annäherungsweise, und in Abwesenheit besserer Informationen, die Brennstoffkosten von Öl angenommen. In der Kraftwerksliste der BNetzA (BNetzA, 2022) wird ein Großteil dieser Einheiten als Prozessdampf-Kraftwerke geführt. Die tatsächlichen Kosten können also deutlich abweichen.

3.4 Anpassungen gegenüber dem EWI Merit-Order Tool Version 2022.0

Die grundsätzlichen Funktionen und die Nutzeroberfläche haben sich zwischen den Versionen 2022.0 und 2022_Nov.0 des EWI Merit Order Tools nicht verändert. Lediglich die Datenbasis wurde angepasst. Die angenommenen Standardwerte für die verschiedenen Inputgrößen wurden bereits in Kapitel 3.2 erläutert. Durch die Anpassung dieser Größen soll die mittlere Merit-Order der konventionellen Kraftwerke für das Jahr 2022 angenähert werden.

Zusätzlich wurde der im Merit-Order Tool 2022 hinterlegte Kraftwerkspark gegenüber der Vorversion angepasst. Um den mittleren konventionellen Kraftwerkspark des Jahres 2022 anzunähern, wurde der Kraftwerkspark basierend auf der Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur (Stand: 31.05.2022) (BNetzA, 2022) angepasst. Die Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur beruht seit 2021 auf den Daten und Eintragungen des Marktstammdatenregisters. Dies ist eine Neuerung gegenüber den Versionen der Vorjahre. Daher ist die Kraftwerksliste im Merit-Order Tool 2022 (Version 2022.0 und Version 2022_Nov.0) mit den Versionen der Vorjahre schwer vergleichbar. In Ermangelung detaillierter Daten zu den Wirkungsgraden der einzelnen Stromerzeugungseinheiten wurde für die einzelnen Einheiten der Wirkungsgrad des gesamten Kraftwerks(-blocks) aus der Vorgängerversion des Tools verwendet. Innerhalb eines Kraftwerks(-blocks) findet also, auch wenn die einzelnen Stromerzeugungseinheiten sich in Technologie, Inbetriebnahmedatum oder sogar Brennstoff unterscheiden, keine Differenzierung anhand der Wirkungsgrade statt.

Im Vergleich zur Version 2022.0 sind 90 Kraftwerksblöcke (s. Tabelle 7) mit einer kumulierten Netto-Nennleistung von 14,1 GW entfernt worden, da sie nicht länger in Betrieb sind. Gleichzeitig sind 72 Kraftwerksblöcke (s. Tabelle 8) mit einer Netto-Nennleistung von 1,3 GW neu hinzugekommen oder wieder in Betrieb genommen worden (BNetzA, 2022). Zusätzlich wurden fünf Braunkohle- und vier Steinkohlekraftwerke in die Kraftwerksliste mit aufgenommen (s. Tabelle 9). Dabei handelt es sich um die Kohlekraftwerke, die auf Grund der Energiekrise wieder in Betrieb genommen werden sollen. Da diese Kraftwerke allerdings noch nicht in der Liste der Bundesnetzagentur (Stand: 31.05.2022) enthalten sind, sind sie in der Standardkonfiguration kein Teil der Merit-Order, können aber hinzugefügt werden.

Tabelle 7: Kraftwerksblöcke die die aus der Kraftwerkliste entfernt wurden

Marktstammdatenregisternummer
SEE930596800480; SEE929797382345; SEE988046628214; SEE923527691592; SEE930673793902; SEE972475289894; SEE951462745445; SEE999977738880; SEE950589701143; SEE930752846949; SEE943690268513; SEE927528071629; SEE904194792843; SEE976333173899; SEE976333173899; SEE944567587799; SEE985577062814; SEE907150117643; SEE979012663285; SEE967605837250; SEE911764038249; SEE922477386435; SEE919390074075; SEE905415023425; SEE919393178787; SEE904421343152; SEE923304040681; SEE932787342328; SEE942237774470; SEE908672656115; SEE907162822238; SEE977258693776; SEE931405152110; SEE955453307926; SEE940711490885; SEE997842921603; SEE918821866890; SEE943101874623; SEE963023008050; SEE969748285110; SEE988265559689; SEE935395375856; SEE996376851301; SEE901344829220; SEE941830461497; SEE916790688901; SEE902011821608; SEE952081093863; SEE953940047089; SEE924743461013; SEE912799230783; SEE954409500893; SEE969481532410; SEE983506501298; SEE955340004730; SEE911375937931; SEE982386651765; SEE982182442567; SEE947225049813; SEE905790208189; SEE944254703181; SEE940191479424; SEE945470933949; SEE936773524729; SEE942538982529; SEE929683710078; SEE955995472915; SEE933880771312; SEE991800922688; SEE930072747674; SEE963667652152; SEE967909872162; SEE944326423818; SEE900638363327; SEE952754203742; SEE936805420975; SEE983424047212; SEE961348125032; SEE906315722982; SEE917211054664; SEE960400012501; SEE968328974024; SEE990627277469; SEE934738705541; SEE984434924425; SEE950923564083; SEE973466684971; SEE933136709328; SEE992720174720; SEE913660206173

Tabelle 8: Kraftwerksblöcke die in die Kraftwerkliste aufgenommen wurden

Marktstammdatenregisternummer
SEE987278903410; SEE905023260298; SEE900549498521; SEE937997291855; SEE939848582457; SEE946069613440; SEE969511682320; SEE923793340132; SEE924562445072; SEE930647914081; SEE939899660715; SEE962395118756; SEE963438570067; SEE965660903200; SEE985036646654; SEE919939073064; SEE984196895179; SEE943210695102; SEE939917723934; SEE965203033722; SEE979426528330; SEE985143270643; SEE940303116315; SEE994055148599; SEE934337929126; SEE977622942226; SEE913600410226; SEE968581935343; SEE908070409573; SEE943764365964; SEE909553236495; SEE905366486355; SEE909438607068; SEE974051053875; SEE993292613167; SEE914740925915; SEE956308510836; SEE963197749315; SEE976252866650; SEE977368296324; SEE918506212059; SEE951684578067; SEE982928435068; SEE976607134694; SEE967916097817; SEE950895373805; SEE965067693100; SEE989887901764; SEE966083015792; SEE995077047419; SEE994238154089; SEE988580370860; SEE998558143099; SEE902418917676; SEE998261618013; SEE938035990372; SEE919134316447; SEE955837429145; SEE990523934756; SEE977834211387; SEE907370296296; SEE958519166192; SEE922849915072; SEE976826191515; SEE904017020009; SEE955292024220; SEE900838448145; SEE924053403383; SEE983807255883; SEE973793127974; SEE914179988338; SEE993546424112

Tabelle 9: Kohlekraftwerke die (voraussichtlich) wieder in Betrieb gehen auf Grund der Energiekrise 2022

Marktstammdatenregisternummer	Begründung	Kraftwerkstyp	Netto-Nennleistung [MW]
SEE985047526785	Geht im Zuge der Energiekrise wieder an Netz	Braunkohle	500,00
SEE964729462818	Geht im Zuge der Energiekrise wieder an Netz	Braunkohle	500,00
SEE901786750397	Geht im Zuge der Energiekrise wieder an Netz	Braunkohle	295,00
SEE930228090937	Geht im Zuge der Energiekrise wieder an Netz	Braunkohle	299,00
SEE978971638464	Geht im Zuge der Energiekrise wieder an Netz	Braunkohle	292,00
SEE904194792843	Geht im Zuge der Energiekrise wieder an Netz	Steinkohle	690,00
SEE954971534470	Geht im Zuge der Energiekrise wieder an Netz	Steinkohle	726,00
SEE906326984744	Geht im Zuge der Energiekrise wieder an Netz	Steinkohle	655,60
SEE937052769589	Geht im Zuge der Energiekrise wieder an Netz	Steinkohle	875,00

Die Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur beinhaltet seit dem Jahr 2021 die zusätzliche Information „Technologie der Stromerzeugung“. Anhand dessen wurde im Merit-Order Tool 2022 Gaskraftwerke in die zwei Kategorien „GuD“ und „Gasturbine“ aufgeteilt. Dabei handelt es sich um eine rein indikative Zuordnung mit dem Ziel zwischen reinen Gasturbinen, die keine Wärme abführen und komplexeren/effizienteren Systemen zu unterscheiden. Als Gasturbinen kategorisiert wurden nur Einheiten des Typs „Gasturbine ohne Abhitzeessel“. Alle restlichen Gaskraftwerke (inklusive Verbrennungsmotoren) werden im Modell als GuD Kraftwerke bezeichnet.

Literaturverzeichnis

50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH und TransnetBW GmbH (ÜNB, 2019): Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2019, 2. Entwurf. April 2019.

50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH und TransnetBW GmbH (ÜNB, 2022): Abschlussbericht Sonderanalysen Winter 2022/2023. September 2022.

Agora Energiewende (Agora, 2017): Flexibility in thermal power plants - With a focus on existing coal-fired power plants, Juni 2017.

Bundesnetzagentur (BNetzA, 2022): Kraftwerkliste der Bundesnetzagentur, Stand: 31.05.2022.

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln gGmbH (EWI, 2019): Auswirkungen einer Beendigung der Kohleverstromung bis 2038 auf den Strommarkt, CO₂-Emissionen und ausgewählte Industrien - Eine Analyse des Abschlussberichts der WSB-Kommission, August 2019.

European Commission (EU, 2010): Guidance on Interpretation of Annex I of the EU ETS Directive (excl. aviation activities), März 2010.

Europäische Zentralbank (EZB, 2022): Euro-Referenzkurse, URL: https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates (abgerufen am 20.10.2022)

Öko-Institut e.V. (Ökoinstitut, 2014): CO₂-Emissionen aus der Kohleverstromung in Deutschland, März 2014.

Open Power System Data (OPSD, 2020): Open Power System Data. 2020. Data Package Conventional power plants. Version 2020-10-01.

Prognos AG, EWI, GWS (Prognos, 2014): Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose, Juni 2014.

R2b energy consulting GmbH, Consentec GmbH, Fraunhofer ISI, TEP Energy GmbH (R2B, 2019): Definition und Monitoring der Versorgungssicherheit an den europäischen Strommärkten, Projekt Nr. 047/16, Januar 2019.

Sandbag Climate Campaign CIC (Sandbag, 2019): The Cash Cow has Stopped Giving: Are Germany's lignite plants now worthless? Juli 2019.

Ember (Ember, 2022): Daily Carbon Prices. URL: <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/> (abgerufen: 20.10.2022).

Statistik der Kohlewirtschaft e.V. (SDKW, 2022): Entwicklung ausgewählter Energiepreise, Stand 30.09.2022.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Annahmen zu Brennstoffpreisen 2022	11
Tabelle 2: Überblick Annahmen Brennstoffpreis Braunkohle	12
Tabelle 3: Annahmen zu Transportkosten 2022	12
Tabelle 4: Annahmen zu sonstigen variablen Kosten 2022	13
Tabelle 5: Annahmen zu Kraftwerks-Nicht-Verfügbarkeiten 2022	13
Tabelle 6: Annahmen zu Emissionsfaktoren 2022	14
Tabelle 7: Kraftwerksblöcke die die aus der Kraftwerkliste entfernt wurden	18
Tabelle 8: Kraftwerksblöcke die in die Kraftwerkliste aufgenommen wurden	18
Tabelle 9: Kohlekraftwerke die (voraussichtlich) wieder in Betrieb gehen auf Grund der Energiekrise 2022	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Boxplot der Verteilung der Grenzkosten	7
Abbildung 2: Beispielhafte Merit-Order	8
Abbildung 3: Fehlermeldung wenn notwendige Kraftwerksdaten neuer Kraftwerke nicht ausgefüllt werden	9