Bericht vom 30. Juli 2020

Berechnung des Mehrkostenfaktors gemäss LeV
Leitfaden

Ansprechperson BFE: denis.peytregnet@bfe.admin.ch

Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch
## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ................................................................................................................................. 3
Abkürzungsverzeichnis ............................................................................................................................. 4
Veröffentlichte Versionen ......................................................................................................................... 4
1 Einführung .......................................................................................................................................... 5
   1.1 Ziel des Excel-Tools „MKFactory“ und des Leitfadens ............................................................ 5
   1.2 Umgang mit Teilverkabelungen ................................................................................................. 5
2 Allgemeine Bemerkungen zum Excel-Tool „MKFactory“ ................................................................ 6
   2.1 Grundsatz .................................................................................................................................... 6
   2.2 Struktur der Excel-Tabelle .......................................................................................................... 6
3 Tabellenblatt „Erklärungen“ .............................................................................................................. 7
4 Tabellenblatt „Projektdaten“ ............................................................................................................ 7
   4.1 Allgemeine Daten ......................................................................................................................... 8
   4.2 Kostenstellen ............................................................................................................................. 10
   4.3 Kommentare ............................................................................................................................. 13
5 Tabellenblatt „Ergebnisse“ ............................................................................................................... 14
6 Hilfreiche Links .................................................................................................................................. 14
Abkürzungsverzeichnis

MKF  MehrKostenFaktor  
LeV   Leitungsverordnung, SR 734.31  
NPV   Kapitalwert (Barwert)  
PGV   Plangenehmigungsverfahren  
VNB   Verteilnetzbetreiber  
WACC  gewichtete durchschnittliche Kapitalkosten oder Weighted Average Cost of Capital

Veröffentlichte Versionen

V4.3  30. Juli 2020  Zusätzliche Angaben zur Monitoring durch das BFE eingefügt  
                                           Excel-Tool mit Berechnung der Teilverkabelungen ergänzt
1 Einführung

1.1 Ziel des Excel-Tools „MKFactory“ und des Leitfadens


1.2 Umgang mit Teilverkabelungen

2 Allgemeine Bemerkungen zum Excel-Tool „MKFactory“

2.1 Grundsatz

Die Gesamtkosten der beiden Varianten (Freileitung und Erdkabel oder Teilverkabelung) ergeben sich durch die Addition der Kostenstellen a) … i), wie sie in Art. 11c, Abs. 2, LeV aufgelistet sind.


\[ \text{Diskontierte Kosten} = \sum_{t=0}^{n} \frac{\text{Kosten}_t}{(1 + i)^t} \]

\[ \text{t<0 \hspace{1cm} Planung und Bau} \]
\[ \text{t=0 \hspace{1cm} Inbetrieb-} \]
\[ \text{Setzung} \]
\[ \text{Betrieb} \]
\[ \text{t=n \hspace{1cm} Ende Lebens-} \]
\[ \text{Dauer} \]
\[ \text{t=100 \hspace{1cm} Max.} \]
\[ \text{Lebensdauer} \]

Abb.1: Grundsatz der Kapitalbarwertmethode

2.2 Struktur der Excel-Tabelle

Das erste Tabellenblatt erklärt allgemein, wie die Tabelle ausgefüllt wird und die Berechnungen durchgeführt werden.

In das zweite Tabellenblatt werden die allgemeinen Projektdaten eingegeben wie auch die für die Berechnung der Kostenstellen a) … i) notwendigen Werte.


Die Kosten einer jeden Stelle, die Gesamtkosten der beiden Lösungen (Freileitung und Erdkabel oder Teilverkabelung) sowie die Berechnung des MKF werden in das dritte Tabellenblatt „Ergebnisse“ eingetragen. Die Grafik in einer anderen Spalte zeigt die Anteile der verschiedenen Kostenstellen an den Gesamtkosten der Variante Erdkabel oder Teilverkabelung im Vergleich zur Freileitung. Damit entstehen eine Struktur und eine Darstellung der Kosten gemäss Art. 11c, Abs. 2, LeV, was auch einen Vergleich und ein Monitoring der auf derselben Grundlage berechneten Vorhaben für Verteilnetzleitungen ermöglicht.
3 Tabellenblatt „Erklärungen“

Dieses Tabellenblatt enthält eine kurze Gebrauchsanweisung für das Tool.

Um den MFK zu berechnen, müssen alle gelb gefärbten Zellen des Tabellenblatts „Projektdaten“ ausgefüllt werden. Sie können entweder einen festen Wert oder eine durch den Benutzer aufgestellte Formel enthalten. Die Zellen am unteren Ende der Tabelle (Spalten A bis E, Zeile 106ff) können zur Schaffung der Formeln benutzt werden.

Die blauen Zellen enthalten vorgegebene Werte, die verändert werden können. Jede Veränderung dieser Werte muss in den Zellen B93 bis B98 begründet werden.

Die orangen Zellen enthalten Formeln, die durch die Benutzer nicht verändert werden können. Deshalb sind sie nicht zugänglich.

4 Tabellenblatt „Projektdaten“

Alle zur Berechnung des MKF notwendigen Daten werden auf diesem Tabellenblatt eingegeben. Es besteht aus zwei Teilen:

- Die allgemeinen Daten, welche von verschiedenen Stellen oder als Folge des Monitorings durch das BFE verwendet werden (Zeilen 3 bis 33).
- Die für einzelne Kostenstellen bestimmten Daten (Zeilen 34 bis 90).

In jede gelbe Zelle muss ein Wert eingetragen werden. Wird der Wert „0“ in eine Zelle gesetzt, muss dies in einer Zelle „Kommentar“ begründet werden (Zeile 100ff).

In der Zelle B5 muss ausgewählt werden, ob die Variante 2 ein Erdkabel oder eine Teilverkabelung ist. Im ersten Fall werden die Angaben zum Freileitungsanteil (Spalte D) rot gekennzeichnet und ihr Wert wird nicht berücksichtigt.

Eine Teilverkabelung kann aus mehreren Teilen von Erdkabeln oder Freileitungen bestehen. In diesem Fall müssen die Werte der jeweiligen Einzelteile addiert werden, weil das Tool nur je einen Eintrag annimmt.

Alle für den Bau und den Betrieb der Leitung notwendigen Kosten müssen berücksichtigt werden. Sie umfassen auch die Erweiterung oder Änderung der Unterwerke, Trafostationen und Verteilkabinen.

---

Abb. 2: Typisches einpoliges Schema, vereinfacht
4.1 Allgemeine Daten

Enthält die allgemeinen Angaben des Vorhabens, welche zur Bestimmung der verschiedenen Elemente der Gesamtkosten notwendig sind. Die folgenden Daten müssen eingetragen oder berechnet werden:

Name des Vorhabens: 
Denselben Namen verwenden wie für die offiziellen Dokumente für das Bewilligungsgesuch.

Variante 1: 
Die Variante 1 ist als Freileitung festgelegt.

Variante 2: 
Mit Hilfe des Dropdown-Menüs wählen, ob es sich um ein Erdkabel oder um eine Teilverkabelung handelt.
Im Falle einer Erdleitung werden die Zellen der Spalte D (Anteil Freileitung) rot angezeigt und nicht in Betracht gezogen.

Vorherrschende Bodenbeschaffenheit: 

Vorherrschender Schutzgebiet-Typ: 

Ersatz einer bestehenden Leitung: 

Trassee: 
Einen Namen eingeben, falls verschiedene Trassen untersucht werden.

Version: 
Beginnen mit 1.00 und bei jeder Änderung erhöhen.

Verantwortlicher: 
Vorname, Name und Organisation der Person eingeben, welche die Berechnung ausführt.

Datum: 
Es handelt sich um das Tagesdatum. Es wird automatisch aktualisiert und muss deshalb nicht manuell verändert werden.

Betriebsspannung U [kV]: 
Die Spannung eintragen, mit der die Stromleitung betrieben wird.

Netzebene [-]: 
Aufgrund der Betriebsspannung automatisch bestimmter Wert:
Ebene 7: < 1kV
Ebene 5: von 1 bis <36 kV
Ebene 3: von 36 kV bis <220kV
Ebene 1: ≥220kV

Nennstrom In [A]: 
Den Strom eintragen, für den die Leitung ausgelegt ist.
Es handelt sich um den Nennstrom zwischen Unterwerken, Trafostationen oder Verteilkabinen (siehe Abb. 2). Er wird berechnet für Leitungen mit einer Temperatur von 60°C (Erdleitung) und 20°C (Freileitung).

Nominale Scheinleistung Sn [VA]: 
Errechneter Wert: Es handelt sich um die Leistung, die eine Leitung bei Betriebsspannung unter Nennstrom In übertragen kann
(Sn = √3 * U * In *1'000)
Berechnung des Mehrkostenfaktors gemäss LeV

Ladefaktor FC [%]: Verhältnis zwischen der übertragenen Energie während einer bestimmten Zeit und der Energie, die während derselben Zeit unter Nennstrom-Bedingungen hätte transportiert werden können. Dieser Wert entspricht der mittleren Belastung der Leitung. Standardmäßig beträgt er 50%. Bei Bedarf kann er manuell verändert werden. In diesem Fall muss der neue Wert in der Kommentarzelle auf der Zeile 93 begründet werden.

Durchschnittlich übertragene Scheinleistung Sm [VA]: Errechneter Wert: Pn * FC

Durchschnittlicher Kapitalkostensatz WACC [%]: Dieser Wert wird durch den Bundesrat für das Folgejahr festgelegt (Internet-Adresse siehe Kapitel 6). Standardmäßig beträgt dieser Wert 3.83%. Bei Bedarf kann er manuell verändert werden. In diesem Fall muss der neue Wert in der Kommentarzelle auf der Zeile 94 begründet werden.

Teuerungsrate [%]: Der Standardwert beträgt 0.5%. Bei Bedarf kann er manuell verändert werden. In diesem Fall muss der neue Wert in der Kommentarzelle auf der Zeile 95 begründet werden.


EEX SWISS POWER FUTURES

Baseload

<table>
<thead>
<tr>
<th>Name</th>
<th>Last Price</th>
<th>Last Volume</th>
<th>Settlement Price</th>
<th>Volume Exchange</th>
<th>Volume Trade Registration</th>
<th>Open Interest</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>Cal-21</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>44,63</td>
<td>0</td>
<td>17 520</td>
<td>171</td>
</tr>
<tr>
<td>Cal-22</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>47,43</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>20</td>
</tr>
<tr>
<td>Cal-23</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>48,10</td>
<td>-</td>
<td>1</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>Cal-24</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>0</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>Cal-25</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>0</td>
<td>-</td>
</tr>
<tr>
<td>Cal-26</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>-</td>
<td>0</td>
<td>-</td>
</tr>
</tbody>
</table>

Abb. 3: Beispiel für die Bestimmung des Strompreises in EUR/MWh auf eex.com
Wechselkurs [CHF/EUR]: Der Standardwert beträgt 1.12 CHF/EUR. Bei Bedarf kann er manuell verändert werden. In diesem Fall muss der neue Wert in der Kommentarzelle auf der Zeile 97 begründet werden.

Strompreis [CHF/MWh]: Errechneter Wert. Der Strompreis der Swissix wird in CHF/MWh ausgedrückt unter Verwendung des oben angegebenen Wechselkurses.

Für den NPV anwendbarer Satz i [%]: Errechneter Wert: Es handelt sich um die WACC minus den Teuerungssatz der Konsumentenpreise gemäss Art. 11c, Abs. 4, LeV.

Länge der Leitung [km]: Länge der Stromleitung in km eintragen für:
- Die Freileitung
- Die Erdleitung oder den geerdeten Teil der Teilverkabelung
- Den Anteil der Freileitung an der Teilverkabelung, falls anwendbar.

4.2 Kostenstellen

Handelt es sich bei der Variante 2 um eine Erdleitung, müssen alle Werte der Freileitung (Zellen mit rotem Hintergrund) leer bleiben. Eingetragene Werte werden nicht berücksichtigt.

a. Planung

Die Planungskosten für die beiden Varianten „Freileitung“ und „Erdleitung oder Teilverkabelung“ müssen in die gelben Zellen eingetragen werden.

Es handelt sich um interne Kosten des VNB sowie um jene der beauftragten externen Gesellschaften (Bauingenieure, Geometer, Elektroinstallateure). Sie entstehen vor der Inbetriebsetzung der Leitung und werden deshalb nicht abdiskontiert.

Zur besseren Verständlichkeit der Ergebnisse empfehlen wir, die einzelnen Kosten in die freien Zellen des Tabellenblattes einzutragen und deren Summe in die gelben Zellen.

b. Grunderwerb-Rechte-Dienstbarkeiten

Die Kosten für den Grunderwerb entstehen vor der Inbetriebsetzung der Leitung. Somit werden sie nicht abdiskontiert.

Was die Kosten für die Einräumung von Rechten und Dienstbarkeiten betrifft, wird ein durchschnittlicher jährlicher Wert für die Lebensdauer des Vorhabens eingetragen. Beispiel: Konzessionskosten 10’000 CHF alle zehn Jahre ➔ einzutragender Wert: 1’000 CHF/Jahr.

c. Wiederherstellung

Hier werden Wiederherstellungs- und Ersatzmassnahmen berücksichtigt: Es handelt sich um Kosten zu Lasten des Bauherrn für den Naturschutz, die Aufforstung usw.

Sie entstehen vor der Inbetriebnahme der Leitung und werden deshalb nicht abdiskontiert.

Zur besseren Verständlichkeit der Ergebnisse empfehlen wir, die einzelnen Kosten in die freien Zellen des Tabellenblattes einzutragen (Spalten A bis E, Zeilen 106ff) und deren Summe in die gelben Zellen B42, C42 und D42.
### d. Material

Eingetragen werden die Kosten für das notwendige Material und dessen Transport zur Baustelle.

Sie müssen auf die folgenden Stellen aufgeteilt werden:

<table>
<thead>
<tr>
<th>Kostenstelle</th>
<th>Beschreibung</th>
<th>Freileitung</th>
<th>Erdleitung oder Teilverkabelung</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>X</td>
<td>X*</td>
</tr>
<tr>
<td>Masten</td>
<td>Masten, welche die Leitungen tragen, Erdleitungsmaterial</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Leiterseile</td>
<td>Leiterseile, Isolatoren, Verbindungs-elements</td>
<td>X</td>
<td>X*</td>
</tr>
<tr>
<td>Übergangsbauwerk</td>
<td>Metallkonstruktion, welche die Schnittstelle zwischen einer Freileitung und einem Kabel bildet</td>
<td>X**</td>
<td>X</td>
</tr>
<tr>
<td>Kabel</td>
<td>Preis der Kabel, Kabelrollen</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Kabelendverschlüsse, Zubehör</td>
<td>Kabelendverschlüsse, Muffen, Stützen, Kabelkanäle</td>
<td></td>
<td>X</td>
</tr>
<tr>
<td>Änderung der Unterwerke und Verteilkabinen</td>
<td>Transformatoren, Verteilkabinen, Schutz und Kontrolle, Nebenleistungen, Anschlüsse</td>
<td>X</td>
<td>X</td>
</tr>
</tbody>
</table>

* : Für Teilverkabelung.

** : z.B. Verteilkabine mit Netzzuleitung, dann Freileitung ausserhalb des Gebäudes


Die Kosten der Bauingenieure, welche auch die Rohre betreffen, müssen in der Stelle „Bau- und Montage“ eingetragen werden.

### e. Bau- und Montage

Man unterscheidet zwischen:

- Baukosten: Herstellung von Gräben, Lieferung und Verlegung der Kabelführungsrohre, Bau der Fundamente für die Masten der elektrischen Leitungen.
- Die Montagekosten umfassen die Arbeitskosten für die Montage des unter d aufgeführten Materials auf der Baustelle.

f. Rückbau

Gemäß den Erläuterungen zur Teilrevision der LeV sind bei den Rückbaukosten auch die Restwerte der rückzubauenden Anlagen, welche dann zu Sonderabschreibungen führen, zu berücksichtigen. In der Excel-Tabelle müssen der Restbuchwert und die Rückbaukosten einzeln aufgeführt werden (Zeilen 57 und 58).

g. Instandhaltung und Reparatur

Man unterscheidet zwischen:

Die Kosten der Komponenten, die während der Lebensdauer ersetzt werden müssen (z.B. Austausch der Kabel nach 40 Jahren) werden nachstehend unter h. berücksichtigt.

h. Ersatz

Die Kosten der Komponenten, die während der Lebensdauer ersetzt werden, müssen in die entsprechenden Zellen eingetragen werden:
- Ersatz der Kabel (typischerweise nach der halben Lebensdauer)
- Ersatz der Leiterseile und Isolatoren für Freileitungen
- Oben nicht aufgeführter Ersatz (z.B. Holzmasten)

Damit diese Kosten gemäß der im Kapitel 1.2 beschriebenen Methode abdiskontiert werden können, ist in der Spalte F anzugeben, wie viele Jahre nach der Inbetriebnahme diese Ersetzungen erfolgen werden.

i. Energieverluste

Diese Daten ermöglichen die Berechnung des abdiskontierten Werts der Energieverluste während der Lebensdauer der Leitung. Die Eigenschaften der Leitungen (Freileitungen) und der Kabel (erdverlegte Leitungen) müssen durch den Bauherrn bestimmt und in die entsprechenden Zellen eingetragen werden.


Eine Leitung kann aus verschiedenen Strängen bestehen (ein Strang wird in der Unterstation mit einem bestimmten Anschluss verbunden) und jeder Strang kann aus mehreren Leitern je Phase bestehen (siehe Abb. 2). Zur Berechnung der Verluste wird angenommen, dass sich der Strom gleichmäßig auf alle Leiter verteilt:

\[ I_{\text{Leiter}} = \frac{I_n}{\text{Zahl der Stränge} \times \text{Zahl der Leiter je Phase}} \]
Zur Berechnung der Verluste sind folgende Angaben notwendig:

Für die Freileitung:
- Der Leitertyp: Bitte den Typ des vorgesehenen Leiters eingeben und ein „data sheet“ beilegen, das die technischen Eigenschaften angibt (Werkstoff, Querschnitt, Widerstand …)

Für die erdverlegte Leitung:
- Der Kabeltyp: Bitte den Typ des vorgesehenen Kabels eingeben und ein „data sheet“ beilegen, das die technischen Eigenschaften enthält (Baustoff, Querschnitt, Widerstand, Kapazität …)
- C [µF/km] eines jeden Kabels: Den Wert der Kapazität je Strang-km eines Kabels eingeben. Die Formel für die Berechnung der Verluste berücksichtigt die Zahl der Kabel.
- Tan delta [-]: Der Wert von 0.00035 ist vorgegeben, weil er auf den Datenblättern der Lieferanten nicht angegeben ist. Eine manuelle Veränderung dieses Werts muss in der Kommentarzelle auf der Zeile 98 begründet werden.

4.3 Kommentare

Veränderung der Standardwerte: Jede Veränderung der vorgegebenen Werte (blaue Zellen) muss begründet werden. Hierzu bitte die Zellen B93 bis B98 verwenden.

Zusätzliche Kommentare: Alle weiteren für das Verständnis der Daten notwendigen Kommentare werden in die Zellen B100 bis B105 eingetragen.
5 Tabellenblatt „Ergebnisse“

Die nach den Stellen a ... i berechneten Kosten werden aufgeführt und summiert, um die Gesamtkosten einer jeden Variante zu bestimmen.

Der Mehrkostenfaktor wird in der Zelle C18 berechnet (Gesamtkosten erdverlegte Leitung / Gesamtkosten Freileitung). Ein Säulendiagramm zeigt die Gesamtkosten der Variante Erdkabel oder Teilverkabelung im Vergleich zur Variante Freileitung sowie den Anteil einer jeden Kostenstelle am Total der Freileitung, der Erdleitung und – im Fall einer Teilverkabelung – an ihrem Freileitungsanteil.

6 Hilfreiche Links

Mitteilung von BFE, ElCom und ESTI betreffend „Anwendung von Artikel 15c EleG im Rahmen des Plangenehmigungsverfahrens“:
https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10089

Excel-Datei MKFactory:
https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10069

Website des BFE über „Freileitung oder Kabel“:
https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/stromversorgung/stromnetze/freileitung-oder-kabel.html

Elektrizitätsgesetz, EleG, SR 734.0:
https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19020010/index.html

Änderung des EleG vom 15. Dezember 2017:

Leitungsverordnung, LeV, SR 734.31:
https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19940083/index.html

Leitungsverordnung, LeV, SR 734.31, Änderung vom 3. April 2019:

Teilrevision der Verordnung über elektrische Leitungen, Erläuterungen:
https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9671

WACC:
https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/medienmitteilungen/mm-test.msg-id-74112.html

Bestimmung des Strompreises in EUR/MWh:
Anhang 1: Rechenbeispiele für teilverkabelte Leitungen

Beispiel 1:

Im Falle einer bestehenden Freileitung, in der nur ein Abschnitt A-B erneuert werden muss, wird der MKF bloss für den betroffenen Abschnitt A-B berechnet:

Bei den mit dem Tool MKFactory errechneten Kosten handelt es sich um:
- $C_{la}^{A-B}$ für die Freileitung (Trassee 1)
- $C_{ls}^{A-B}$ für die erdverlegte Leitung (Trassee 2)

Der MKF der Leitung A-B ist:

$$MKF = \frac{C_{ls}^{A-B}}{C_{la}^{A-B}}$$

Beispiel 2:

Der Abschnitt A-x kann nicht verkabelt werden. Er wird somit als Freileitung gebaut. Ihre Kosten, berechnet mit dem Tool MKFactory, betragen: $C_{la}^{A-x}$

Der Abschnitt x-B kann in beiden Varianten ausgeführt werden. Berechnet mit dem Tool XXXX betragen die Kosten:
- $C_{la}^{x-B}$ für die Freileitung (Trassee 1)
- $C_{ls}^{x-B}$ für die erdverlegte Leitung (Trassee 2)

Der MKF der Leitung A-B ist:

$$MKF = \frac{C_{la}^{A-x} + C_{ls}^{x-B}}{C_{la}^{A-x} + C_{la}^{x-B}}$$
Beispiel 3:

Die durchgehende Freileitung benutzt das Trassee 1. Berechnet mit dem Tool MKFactory betragen die Kosten: $Cl_{A-B}$

Es ist nicht möglich, die Leitung in ihrer gesamten Länge in die Erde zu verlegen. Das gewählte Trassee (Trassee 2) muss eine Freileitung enthalten. Berechnet mit dem Tool MKFactory sind die Kosten: $Cls_{A-x} + Cla_{x-y} + Cls_{y-B}$

Der MKF der Leitung A-B ist:

$$MKF = \frac{Kosten\ Trassee\ 2}{Kosten\ Trassee\ 1} = \frac{Cls_{A-x} + Cla_{x-y} + Cls_{y-B}}{Cla_{A-B}}$$