

Handbuch für die Bemessung von Freileitungen über AC 1kV

**Ersatz für
Zuständig**

Formelsammlung für die mechanische Bemessung von Starkstromfreileitungen: 1985-09-01
OVE/TK L Starkstromfreileitungen und Verlegung von Energiekabeln

Copyright OVE

Copyright OVE

VORWORT

Mit Herausgabe der Freileitungsnorm OVE EN 50341-1:2020-04-01 und der österreichischen Nationalen Normativen Festlegungen (NNA) OVE EN 50341-2-1:2020-08-01 begann in der „österreichischen Freileitungswelt“ eine neue Epoche.

Die über Jahrzehnte für die Bemessung von Freileitungen bestimmende empirische Methode wurde durch einen semiprobabilistischen Zugang abgelöst. Zudem wurden wesentliche Bestimmungen der europäischen Vorgaben, insbesondere die relevanten normativen Festlegungen der EUROCODEs, in das neue Normenwerk aufgenommen.

Bereits vor Veröffentlichung der neuen Norm wurde an das zuständige OVE-Fachgremium TK L der Wunsch herangetragen, die für die Errichtungsvorschrift ÖVE-L11 im Jahr 1985 erstellte Formelsammlung zu aktualisieren. Anfang des Jahres 2020 gründete sich dafür die Arbeitsgruppe „Formelsammlung 2020“. Die inhaltliche Aufbereitung der einzelnen Kapitel erfolgte durch das Ziviltechnikerbüro Dipl.-Ing. Schelmlberger. In der Arbeitsgruppe wurden die aufzunehmenden Inhalte festgelegt, die Ausführungen eingehend geprüft, diskutiert, angepasst und abschließend freigegeben.

Um die Anwendbarkeit zu erleichtern, wurden neben vielen Abbildungen und Tabellen auch zahlreiche Beschreibungen und Erläuterungen aufgenommen, wodurch das vorliegende Hilfswerk vielmehr einem Handbuch als einer Formelsammlung entspricht.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Beteiligten für den persönlichen Einsatz und die wertschätzende Zusammenarbeit bedanken, die zum Gelingen dieses Handbuchs entscheidend beigetragen haben.

Graz, im August 2021

Günter Deutsch

im Namen aller
Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Arbeitsgruppe

Dipl.-Ing. **Konstanze ALTENBURGER**

Ziviltechnikerbüro Dipl.-Ing. Josef Schelmbberger, Wien

Ing. **Albert AUBERGER**

Netz Oberösterreich GmbH, Linz

Dipl.-Ing. **Joachim BODNER**

TINETZ-Tiroler Netze GmbH, Thaur

Ing. **Günter DEUTSCH**

Energie Steiermark Technik GmbH, Graz

Ing. **Martin HAUGENSTEINER**

Netz Niederösterreich GmbH, Maria Enzersdorf

Dipl.-Ing. **Gunhild LAYR**

Austrian Power Grid AG, Wien

Dipl.-Ing. **Lukas LEITNER**

Netz Oberösterreich GmbH, Linz

Ing. **Herbert LUGSCHITZ**

Technisches Komitee L des OVE, Wien

Helmut NEUBACHER

European Trans Energy GmbH, Ennsdorf

Ing. Dr. **Heinz W. NIEDERMÜLLER**

TEBET GmbH, Wien

Dipl.-Ing. **Patrick PÖGEL**

Energie Steiermark Technik GmbH, Graz

Dipl.-Ing. **Josef SCHELMBERGER**

Ziviltechnikerbüro Dipl.-Ing. Josef Schelmbberger, Wien

Ing. **Martin SCHRAMBÖCK**

MABA Fertigteilindustrie GmbH, Wöllersdorf

Dipl.-HTL-Ing. **Josef STRASSER**, MBA

Salzburg Netz GmbH, Salzburg

Ing. **Günther WÜRCHER**

KNG-Kärnten Netz GmbH, Klagenfurt

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG.....	7
1 ABKÜRZUNGEN UND NORMATIVE VERWEISE	9
1.1 ABKÜRZUNGEN	9
1.1.1 LATEINISCHE GROSSBUCHSTABEN	9
1.1.2 LATEINISCHE KLEINBUCHSTABEN	21
1.1.3 GRIECHISCHE BUCHSTABEN	31
1.2 NORMATIVE VERWEISE.....	36
2 ZUVERLÄSSIGKEITSDAUER.....	38
3 EINWIRKUNGEN AUF FREILEITUNGEN.....	39
3.1 WINDLASTEN.....	39
3.1.1 BEMESSUNGSWINDLASTEN.....	39
3.1.2 WINDLASTEN AUF EINE KOMPONENTE EINER FREILEITUNG	42
3.1.3 WINDLASTEN AUF LEITER	43
3.1.3.1 BEZUGSHÖHE ÜBER BODEN.....	43
3.1.3.2 REAKTIONSBEIWERT FÜR LEITER	43
3.1.3.3 WINDWIDERSTANDSBEIWERT FÜR LEITER	44
3.1.3.4 MASSGEBENDE SPANNFELDLÄNGEN	45
3.1.3.5 WINDKRAFT AUF LEITER.....	45
3.1.4 WINDLASTEN AUF ISOLATORKETTEN	47
3.1.5 WINDLASTEN AUF GITTERMÄSTEN	48
3.1.6 WINDLASTEN AUF EINSTIELIGE MÄSTEN.....	49
3.2 EISLASTEN	50
3.2.1 ALLGEMEINES	50
3.2.2 EISLAST AN LEITERN.....	51
3.2.3 EISLASTEN AUF ZUSATZKOMPONENTEN.....	52
3.3 GLEICHZEITIGES WIRKEN VON WIND- UND EISLASTEN	52
3.4 TEMPERATUR.....	53
3.5 BETRIEBSSICHERHEITSLASTEN	53
3.6 PERSONENSICHERHEITSLASTEN.....	53
4 LASTFÄLLE UND LASTFALLKOMBINATIONEN.....	54
4.1 SICHERHEITSKONZEPT.....	54
4.1.1 BEMESSUNGSWERTE DER EINWIRKUNGEN	54
4.1.2 BEMESSUNGSWERT DER TRAGWERKSBEANSPRUCHBARKEIT	55
4.1.3 NACHWEISVERFAHREN TRAGSICHERHEIT.....	55
4.1.4 CHARAKTERISTISCHE EINWIRKUNGEN	55
4.2 DEFINITION DER RICHTUNGEN DER WINDEINWIRKUNGEN.....	56
4.3 LASTFÄLLE UND LASTFALLKOMBINATIONEN FÜR FREILEITUNGEN ÜBER 45 kV.....	56
4.3.1 WINDLASTFÄLLE (1aa, 1ab und 1ac).....	56
4.3.2 EISLASTFÄLLE (2a, 2b, 2c und 2d)	58
4.3.3 KOMBINIERTE WIND-EIS-LASTFÄLLE (3aa, 3ab, 3ac, 3ba, 3bb und 3bc)	60
4.3.3.1 EXTREME EISLAST UND WINDLAST MIT HOHER AUFTRETENSWAHRSCHEINLICHKEIT (3aa, 3ab und 3ac)	60
4.3.3.2 WINDLAST MIT NIEDRIGER AUFTRETENSWAHRSCHEINLICHKEIT UND REDUZIERTER EISLAST (3ba, 3bb und 3bc)	63

4.3.4	NIEDRIGSTE TEMPERATUR (4).....	65
4.3.5	BETRIEBSLASTFÄLLE (5).....	66
4.3.5.1	BETRIEBSSICHERHEITSLASTEN, TORSIONSLASTEN (5a).....	66
4.3.6	PERSONENSICHERHEITSLASTÄLLE (6a und 6b)	67
4.3.6.1	LASTEN AUS ERRICHTUNG UND INSTANDHALTUNG (6a)	67
4.3.6.2	LASTEN AUS DEM GEWICHT VON MONTEUREN (6b)	67
4.4	LASTFÄLLE UND LASTFALLKOMBINATIONEN FÜR FREILEITUNGEN ÜBER 1 kV BIS EINSCHLIESSLICH 45 kV OHNE ZUSÄTZLICHE MASSNAHMEN FÜR ERHÖHTE SICHERHEIT	68
4.5	VERSAGEN EINES ISOLATORKETTENSTRANGES	68
5	SEILSTATISCHE BERECHNUNGEN	69
5.1	GRUNDLAGEN	69
5.2	DURCHHANGSBERECHNUNGEN	69
5.2.1	DURCHHANGSKURVE DER KETTENLINIE	69
5.2.2	DURCHHANGSKURVE MIT PARABEL	71
5.2.3	TRANSFORMATION DER SEILKURVEN IN EIN ALLGEMEINES KOORDINATENSYSTEM.....	72
5.3	ERMITTLUNG DER HORIZONTALEN SEILZUGKRAFT AUS DEM DURCHHANG IN SPANNFELDMITTE.....	73
5.4	AUFLAGERKRÄFTE IN DEN AUFHÄNGEPUNKTEN.....	74
5.5	ZUSTANDSÄNDERUNGEN	74
5.6	EINZELSPANNFELDER MIT ABSPANNKETTEN	76
5.7	EINZELSPANNFELDER MIT SYMMETRISCHEN EINZELLASTEN UND ABSPANNKETTEN	78
5.8	EINZELSPANNFELDER MIT BELIEBIGEN EINZELLASTEN	80
5.9	DURCHHANG UND LEITERZUG NACH KETTENRISS IN EINZELSPANNFELDERN	82
5.10	ABSPANNABSCHNITTE MIT HÄNGEKETTEN	83
5.10.1	IDEELLER SEKANTENWINKEL UND IDEELLE SPANNWEITE	83
5.10.2	DURCHHANG BEI UNGLEICHER ANEISUNG.....	84
5.10.3	DURCHHANG NACH KETTENRISS	89
5.11	FESTWERTE VON ZWEIMETALLSEILEN	89
5.11.1	ELASTIZITÄTSMODUL	89
5.11.2	TEMPERATURDEHNZAHL	89
5.12	EXPERIMENTAL PLASTIC ELONGATION – METHODE (EPE-METHODE)	90
6	ERMITTLUNG DER INNEREN UND ÄUSSEREN ABSTÄNDE	91
6.1	ÜBERSICHT ÜBER DIE LASTFÄLLE	91
6.1.1	LASTFALL HÖCHSTE LEITERTEMPERATUR	91
6.1.2	WINDLASTEN.....	91
6.1.3	EISLASTEN	93
6.2	ERMITTLUNG DER AUSLENKUNGEN UND LEITERABSTÄNDE	94
6.2.1	AUSLENKUNG EINES LEITERS ZUFOLGE WIND	94
6.2.2	AUSLENKUNG EINER HÄNGEKETTE ZUFOLGE WIND.....	95
6.2.3	AUSLENKUNG EINER HÄNGEKETTE MIT BELASTUNGSGEWICHT ZUFOLGE WIND.....	96
6.2.4	GEOMETRISCHE ERMITTLUNG DER LEITERABSTÄNDE IN SPANNFELDMITTE	97
6.2.4.1	ERMITTLUNG DER LEITERSEKANTENABSTÄNDE ZWEIER LEITER IN RUHELAGE IN SPANNFELDMITTE	97
6.2.4.2	ERMITTLUNG DER LEITERABSTÄNDE ZWEIER LEITER IN RUHELAGE IN SPANNFELDMITTE	99
6.2.4.3	ERMITTLUNG DER LEITERABSTÄNDE ZWEIER LEITER IM AUSGELENKTEN ZUSTAND IN SPANNFELDMITTE	100
6.3	ERMITTLUNG DER INNEREN ABSTÄNDE IN FELDMITTE	101
6.3.1	ERMITTLUNG DER INNEREN ABSTÄNDE GEMÄSS ANHANG F DER OVE EN 50341-1.....	101
6.3.2	ERMITTLUNG DER INNEREN ABSTÄNDE BEI ÜBEREINANDER LIEGENDEN LEITERN	101

6.3.3	ERMITTLUNG DER INNEREN ABSTÄNDE NACH KRAUTT	103
6.4	ERMITTLUNG DER ÄUSSEREN ABSTÄNDE	107
6.4.1	ERMITTLUNG DER MAXIMALEN DURCHHÄNGE	107
6.4.2	ERMITTLUNG DER MAXIMALEN HORIZONTALEN AUSLENKUNGEN	107
7	DIMENSIONIERUNG VON STÜTZPUNKTEN	108
7.1	ZUORDNUNG DER STÜTZPUNKE	108
7.1.1	SCHADENSFOLGEKLASSEN	108
7.1.2	AUSFÜHRUNGSKLASSEN	108
7.2	STAHLGITTERMASTEN	108
7.2.1	GRUNDLAGEN STAHLGITTERMASTEN	108
7.2.2	BEMESSUNGSREGELN STAHLGITTERMASTEN	109
7.2.2.1	MATERIALEITIGE TEILSICHERHEITEN	109
7.2.2.2	BEANSPRUCHBARKEIT DER QUERSCHNITTSFLÄCHEN	109
7.2.2.3	BEANSPRUCHBARKEIT VON GITTERSTÄBEN	110
7.2.2.3.1	Zugstäbe	110
7.2.2.3.2	Druckstäbe	111
7.2.2.3.3	Knickbeanspruchte Druckstäbe	111
7.2.2.3.4	Schlankheiten von druckbeanspruchten Bauteilen	113
7.2.3	BEANSPRUCHBARKEIT VON SCHRAUBENVERBINDUNGEN	113
7.3	EINSTIELIGE STAHLMASTEN	113
7.3.1	GRUNDLAGEN EINSTIELIGE STAHLMASTEN	113
7.3.2	BESONDERE NATIONALE REGELUNGEN FÜR EINSTIELIGE STAHLMASTEN	114
7.3.3	BESONDERE ALLGEMEINE REGELUNGEN FÜR EINSTIELIGE STAHLMASTEN	114
7.4	HOLZMASTEN	114
7.4.1	GRUNDLAGEN HOLZMASTEN	114
7.4.2	BESONDERE NATIONALE REGELUNGEN FÜR HOLZMASTEN	114
7.4.3	BESONDERE ALLGEMEINE REGELN FÜR HOLZMASTEN	114
7.5	BETONMASTEN	118
7.5.1	GRUNDLAGEN BETON- UND SCHLEUDERBETONMASTEN	118
7.5.2	BESONDERE NATIONALE FESTLEGUNGEN FÜR BETON- UND SCHLEUDERBETONMASTEN	119
8	GRÜNDUNGEN	120
8.1	BEMESSUNGSMETHODEN	120
8.1.1	EMPIRISCHE BEMESSUNGSMETHODEN	120
8.1.2	BEMESSUNG AUF BASIS DER EUROCODES	120
8.2	BODENKLASSIFIZIERUNG	120
8.3	EMPIRISCHE BEMESSUNG VON FLACHFUNDIERUNGEN	121
8.3.1	BERECHNUNGSVERFAHREN NACH MOHR	121
8.3.1.1	GRUNDLAGEN	121
8.3.1.2	BLOCKFUNDAMENT MIT EINACHSIGER MOMENTENBEANSPRUCHUNG	125
8.3.1.3	BLOCKFUNDAMENT MIT ZWEIACHSIGER MOMENTENBEANSPRUCHUNG	127
8.3.1.4	ANWENDUNG BEI GENEIGTER GELÄNDEOBERFLÄCHE	130
8.3.2	BERECHNUNGSVERFAHREN NACH SULZBERGER	131
8.3.2.1	NICHT ABGESTUFTE BLOCKFUNDAMENTE	132
8.3.2.2	ABGESTUFTE BLOCKFUNDAMENTE	135
8.3.2.3	ÜBERPRÜFUNG DER STANDSICHERHEIT VON NICHT ABGESTUFTEN UND ABGESTUFTEN BLOCKFUNDAMENTEN NACH SULZBERGER	137
8.3.2.4	FUNDAMENTE IM GENEIGTEN GELÄNDE	139

8.3.3	BERECHNUNGSVERFAHREN NACH STECKNER	139
8.3.3.1	EINLEITUNG.....	139
8.3.3.2	ERDSTATISCHE GRUNDLAGEN	141
8.3.3.3	GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSNACHWEIS	144
8.3.3.4	STANDSICHERHEITSNACHWEIS	146
8.3.3.5	ÄQUIVALENTE GRUNDRISSMASSE BEI NICHT RECHTECKIGER GRUNDRISSFORM	157
8.3.4	MEHRBLOCKFUNDAMENTE (AUFGELOSTE BLOCKFUNDAMENTE)	157
8.3.4.1	ZUGFUNDAMENTE	158
8.3.4.2	DRUCKFUNDAMENTE.....	160
8.4	BEMESSUNG VON TIEFGRÜNDUNGEN AUF BASIS DER EUROCODES	162
8.4.1	EINFÜHRUNG TIEFGRÜNDUNGEN	162
8.4.2	PFAHLINTEGRITÄTSPRÜFUNGEN	163
8.4.3	TIEFGRÜNDUNGEN MIT GROSSBOHRPFÄHLEN	164
8.4.3.1	GRUNDLAGEN DER PFAHLBEMESSUNG UND SICHERHEITEN	164
8.4.3.1.1	Axial belastete Einzelpfähle	164
8.4.3.1.2	Horizontal belastete Pfähle	170
8.4.3.2	AUSGEWÄHLTE PFAHLFUNDAMENTE	173
8.4.3.2.1	Pfahlsysteme	173
8.4.3.2.2	Pfahlsystem mit 1 Pfahl	174
8.4.3.2.3	Pfahlsystem mit 2 Pfählen	175
8.4.3.2.4	Pfahlsystem mit 3 Pfählen	178
8.4.3.2.5	Pfahlsystem mit 4 Pfählen	183
8.4.4	TIEFGRÜNDUNGEN MIT MIKROPFÄHLEN UND VERDRÄNGUNGSPFÄHLEN	186
8.5	ALLGEMEINE AUSFÜHRUNGSHINWEISE FUNDAMENTE.....	187
8.5.1	BETON	187
8.5.2	KRAFTEINLEITUNG DER ECKSTIELKRÄFTE	187
8.5.3	UNBEWEHRTE FUNDAMENTSTUFEN UND PLATTENVORSPRÜNGE	189
9	MECHANISCHE BEMESSUNG DER LEITER	193
9.1	GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT DER LEITER.....	193
9.2	GRENZZUSTAND DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT DER LEITER	194
10	MECHANISCHE BEMESSUNG DER ISOLATOREN	195
11	MECHANISCHE BEMESSUNG DER ARMATUREN.....	196
	LITERATURVERZEICHNIS.....	197
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	199
	TABELLENVERZEICHNIS	202

EINLEITUNG

Die Einführung des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts sowie die weitgehende Implementierung der EUROCODEs in Bemessung und Konstruktion von Freileitungen haben eine grundlegende Überarbeitung der Freileitungsnormen erfordert, die in der OVE EN 50341-1:2020 *„Freileitungen über AC 1 kV. Teil 1: Allgemeine Anforderungen – Gemeinsame Festlegungen“*, Ausgabe 2020-04-01 und den dazugehörigen nationalen normativen Festlegungen (NNA) für Österreich OVE EN 50341-2-1:2022 abgebildet wurde.

Die Umstellung auf eine weitgehend EUROCODE-konforme Bemessung und Konstruktion der Freileitungen bedingt auch eine Anpassung der Bemessungsmethoden und der dazugehörigen Bemessungsformeln.

Die bestehende *„Formelsammlung für die mechanische Bemessung von Starkstromfreileitungen“* aus dem Jahre 1985 [10], deren Grundlage im Wesentlichen die ÖVE-L11 *„Errichtung von Starkstromfreileitungen über 1 KV“* aus den Jahren 1967 und 1979 darstellt, bildet die aktuellen Entwicklungen nicht oder nur unzureichend ab.

Das vorliegende *„Handbuch für die Bemessung von Freileitungen über AC 1 kV“* versteht sich daher als eine Weiterführung und Aktualisierung der bestehenden Formelsammlung, unter Berücksichtigung der OVE EN 50341-1:2020, der OVE EN 50341-2-1:2022 und den aktuellen EUROCODE-Normen. Darüber hinaus wurden zusätzliche Kapitel aufgenommen, für die ein aktueller Bedarf vorhanden schien. Einige Kapitel aus der bestehenden Formelsammlung wurden nicht übernommen, da kein Bedarf mehr erkennbar war. Wegen der Komplexität der Thematik kann das Handbuch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, es wurde jedoch versucht die gängigen Fragestellungen zu behandeln.

Wie die Formelsammlung 1985, bildet das vorliegende Handbuch eine Hilfestellung für den Anwender in der Umsetzung der OVE EN 50341-1, der OVE EN 50341-2-1 und den relevanten EUROCODE-Normen für Bemessung und Konstruktion.

Spezifische Themen des Freileitungsbaus, wie zum Beispiel das Kapitel Seilstatik, wurden sehr ausführlich behandelt, da eine zusammenhängende und umfassende Publikation der Thematik unter Berücksichtigung der österreichischen Besonderheiten fehlt.

Die Bemessung und Konstruktion der Tragwerke selbst erfolgt nach den entsprechenden EUROCODE-Normen, sie ist dort auch sehr detailliert beschrieben. Es wurde daher für diese Kapitel auf detaillierte Beschreibungen der Bemessungsprozedere verzichtet und nur Ergänzungen und Abweichungen von den EUROCODE-Normen oder etwaige Besonderheiten des Freileitungsbaus angeführt.

Für die Bemessung konventioneller Fundamente von Freileitungstragwerken stehen einfache Bemessungsmethoden zur Verfügung, die nicht EUROCODE-konform sind, sich jedoch in der Vergangenheit als zuverlässig bewährt haben. Diese bewährten Bemessungsmethoden wurden daher in das Handbuch übernommen. Es ist hierbei jedoch zu beachten, dass hier die Bemessung auf

charakteristischem Lastniveau durchzuführen ist. Tieffundierungen sind jedoch, wie in der OVE EN 50341-2-1 vorgegeben, auf Basis von EUROCODE 7 zu bemessen.

Gundsätzlich sind die Bemessung und Konstruktion der Freileitungen auf Basis der relevanten Normen und dem aktuellen Stand der Technik durchzuführen. Das Handbuch versteht sich lediglich als ergänzendes Dokument, in dem ausgewählte Bemessungsmethoden in einer für den Anwender übersichtlichen Form dargestellt werden. Die Angemessenheit und Vollständigkeit der Nachweisführung für Bemessung und der Konstruktion einer Freileitung verbleibt beim Projektanten derselben. Bei eventuellen Widersprüchen zwischen dem Handbuch und den relevanten Normen gelten die Normen.

Bei den verwendeten Normen wurden die zum Zeitpunkt der Erstellung des Handbuches aktuellen Normen verwendet. Das Ausgabedatum der verwendeten Normen ist im Kapitel 1.2 „NORMATIVE VERWEISE“ angegeben.

Bemessungsmethoden, speziell für den Themenkreis Seilstatik, wurden aus der Formelsammlung 1985 übernommen und zeitgemäß aufbereitet. Die Originalquellen hierzu standen der Arbeitsgruppe nur teilweise zur Verfügung, es diente daher die Formelsammlung selbst als Referenzliteratur.

Die im Handbuch angegebenen Formeln wurden, soweit dies möglich war, „einheitenneutral“ formuliert. Die Wahl der Einheiten obliegt dem Anwender, sie sind jedoch in einer Formel einheitlich zu wählen. Nur dort wo dies auf Grund von Konstanten erforderlich war, wurden die Einheiten vorgegeben.