

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 24 (1933)

Heft: 20

Artikel: Ueber eine Anwendung der Nomographie auf die Berechnung der Spannungsänderung eines Transformators

Autor: Fischer, Alexander

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059542>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

gebilden richten sich zahlreiche Fasern in Feldrichtung; bei Pulvern, Sand usw. ist die Erklärung nicht so leicht.

Zweifellos wirken Barrieren unter Oel in Gleichspannungsfeldern wesentlich anders als in Wechselspannungsfeldern. Die Spannungsverteilung bei Isolierschichten ist, auch wenn das Feld auf Grund der geometrischen Anordnung homogen sein müsste, nicht mehr eine gleichmässige, sondern wird durch Ladungswolken stark gestört. Die Spannungsverteilung ist dann anders bei angelegter Spannung, als wenn sich nach kurzzeitigem Elektrodenkurzschluss und Wiederisolierung der Maximalwert der Rückspannung eingestellt hat, und endlich bei Dauerkurzschluss der Elektroden. Es sei diesbezüglich besonders auf die sehr zahlreichen Messungen von Paul Böning hingewiesen²²⁾. Diese Erscheinungen müssen bei der Entwicklung von Gesetzen über Barrieren berücksichtigt werden. Die zur Bildung von Raumladungen erforderliche Zeit ist so kurz, dass deren Einfluss auch in Wechselfeldern studiert werden muss.

Auch in Gasen können Barrieren angewandt werden. Dünne Schirme, welche im unhomogenen Feld senkrecht zur Entladerichtung angebracht sind, ergaben sowohl bei Stoss-, Gleich- und Wechsel-

²²⁾ Mitteilung aus den technischen Instituten der staatlichen Tung-shi-Universität, Woosung, 1932, Heft 5.

selspannung eine Erhöhung der Durchschlagsspannung, Begrenzung der Vorströme und eine Stabilisierung der leuchtenden Vorentladungen²³⁾. Besonders häufig macht die Technik Anwendung von Barrieren gegen Oberflächenentladungen. Hierüber bestehen schon mehrere Untersuchungen²⁴⁾. Wir verzichten deshalb hier, näher darauf einzugehen.

Die Entwicklung der Barrieren nach den angegebenen Prinzipien führt zu fabrikatorischen Problemen der Isoliertechnik, die erst in den Anfängen ihrer Entwicklung stehen. Es erhebt sich der Wunsch nach grossen Isolierflächen verschiedenster Formen. Bis heute sind solche erst mit Hilfe von Wickel-, Segmentier- und sehr teuren Pressverfahren erreichbar, während der Giessprozess leider noch keine elektrisch hochwertigen, chemisch stabilen, ölbeständigen und nicht fliessenden Isolierstoffe liefert. Das Giessen und eventuelle Blasen (wie Glas) oder Aufspritzen (wie Gummi in dünnen Schichten) ist eines der grossen fabrikatorischen Zukunftsprobleme, dessen Bedeutung nur richtig eingeschätzt wird, wenn bedacht wird, dass die Barrierentechnik von nicht geringerer Bedeutung ist wie die Feldformung und wichtiger als das Kondensatorprinzip zur Feldsteuerung.

²³⁾ H. Roser, EZT 1932, Nr. 17, S. 411.

²⁴⁾ U. a. Hescho-Mitteilungen Nr. 63.

Ueber eine Anwendung der Nomographie auf die Berechnung der Spannungsänderung eines Transformators.

Von Alexander Fischer, Prag.

518.3:621.314.21

Es wird der Entwurf eines Rechenbildes (Nomogramms) besprochen, welches ermöglicht, das bei der Berechnung der Spannungsänderung eines Transformatoren auftretende System von vier simultanen Gleichungen zu lösen.

L'auteur discute un projet d'abaque qui permet de résoudre un système de quatre équations simultanées que l'on rencontre lors du calcul de la variation de tension d'un transformateur.

1. Problemstellung.

§ 16 der Regeln für die Bewertung und Prüfung von Transformatoren (RET) (VDE 0532/1930) lautet¹⁾:

Spannungsänderung eines Transformatoren bei einem anliegenden Leistungsfaktor ist der Abfall der Sekundärspannung, der bei Uebergang von Leerlauf auf Nennbetrieb auftritt, wenn Primärspannung und Frequenz ungeändert bleiben. Die Spannungsänderung wird in Prozenten der Nennsekundärspannung ausgedrückt. Die Spannungsänderung u_φ wird ermittelt aus der Nennkurzschlußspannung u_K in Prozenten und der relativen Ohmschen Spannung u_r in Prozenten, die dem Wicklungsverlust entspricht.

Die Spannungsänderung u_φ wird allgemein nach folgender Formel berechnet:

$$u_\varphi = u'_\varphi + 1 - \sqrt{1 - u''_\varphi^2} = u'_\varphi + 0,5 u''_\varphi^2 \quad (a)$$

Hierin bedeutet:

$$\begin{aligned} u'_\varphi &= u_r \cos \varphi + u_s \sin \varphi, \\ u''_\varphi &= u_r \sin \varphi - u_s \cos \varphi. \end{aligned} \quad (b)$$

¹⁾ VDE-Vorschriftenbuch, 19. Aufl., 1933, S. 663.

Die Streuspannung ist

$$u_s = \sqrt{u_K^2 - u_r^2}. \quad (c)$$

Für die Vertafelung des Systems (a) bis (c) finden sich im Schrifttum bereits einige Arbeiten^{2) 3) 4)}, die die gestellte Aufgabe aber nicht unmittelbar bzw. vollständig lösen. Dies soll im folgenden geschehen.

2. Tafelentwurf.

Wie aus den Grundlehren der Nomographie bekannt, sind die Funktionsbeziehungen (a) und (c) am zweckmäßigsten durch Tafeln mit drei parallelen Leiterträgern für u_φ , u'_φ , u''_φ bzw. u_s , u_K , u_r darstellbar. Hierzu tritt nun die Vertafelung des Systems (b), die das Hauptinteresse bietet.

²⁾ E. Bihari-G. Stein, Transformatorenberechnung mittels Nomogramm, ETZ 1930, Nr. 11.

³⁾ F. Dantscher, Nomographische Bestimmung der Spannungsänderung und des Wirkungsgrades bei Transformatoren. Siemens-Z. 1933, Nr. 3.

⁴⁾ E. Mittelmann, Graphische Darstellung der Spannungsänderung von Transformatoren, E. u. M. 1928, H. 12 und 40.

a) Der nächstliegende Weg wäre folgender:
Es ist

$$\begin{aligned} u_r \frac{\cos \varphi_{(1)}}{u'_\varphi} + u_s \frac{\sin \varphi_{(1)}}{u''_\varphi} &= 1, \\ u_r \frac{\sin \varphi_{(2)}}{u''_\varphi} - u_s \frac{\cos \varphi_{(2)}}{u'_\varphi} &= 1, \end{aligned} \quad (b_1)$$

wobei die Zeiger (1) und (2) andeuten sollen, dass im folgenden φ im ersten Falle zu u'_φ , im zweiten zu u''_φ gehört. Hierbei ist aber natürlich $\varphi_{(r)} \equiv \varphi_{(s)} \equiv \varphi$. Eine jede dieser Funktionsbeziehungen kann aber nach den üblichen Verfahren⁵⁾ am zweckmässigsten durch eine Tafel mit zwei parallelen Leiterträgern für u_r und u_s sowie einem Netz von Doppelkotenpunkten für u'_φ , $\varphi_{(1)}$ bzw. u''_φ , $\varphi_{(2)}$ dargestellt werden. Hierbei liegen zusammengehörige Werte von u_r , u_s , u'_φ , $\varphi_{(1)}$ bzw. u_r , u_s , u''_φ , $\varphi_{(2)}$, auf der «Ablesegeraden». Die durch Uebereinanderlagerung beider Tafeln — längs der parallelen Träger für u_r und u_s — entstandene Tafel ergibt dann bei gegebenem u_r und u_s in den Schnittpunkten der hierdurch festgelegten «Ablesegeraden» mit den Netzen u'_φ , $\varphi_{(1)}$, bzw. u''_φ , $\varphi_{(2)}$ zu gegebenem φ die gesuchten Werte u'_φ und u''_φ . Wie eine nähere Rechnung zeigt, fallen die beiden Netze zusammen. Die (nach $\cos \varphi$ bezifferten) Geradenscharen sind durch die Zeiger (1) und (2) auseinanderzuhalten.

β) Die eben geschilderte Vertafelungsart wäre aber nicht zweckmässig, da u'_φ und u''_φ in Form zweier zusammenfallender Kurvenscharen auftreten, anderseits aber nach dem obigen bei der Vertafelung von (a) in Form zweier *paralleler Leiterträger*. Es müsste daher mit den aus der ersten Tafel gefundenen Werten von u'_φ und u''_φ erst in die letztgenannte Tafel übergegangen und dann erst durch den Schnitt der hierdurch festgelegten «Ablesegeraden» mit der Leiter für u_φ dessen Wert gefunden werden.

Hier hilft nun der günstige formale Bau des simultanen Systems (b) durch Anwendung eines auch sonst sehr nützlichen algebraischen Kunstgriffs aus der Verlegenheit. Löst man nämlich (b) nach u_r und u_s auf, so erhält man zunächst

$$\begin{aligned} u_r &= u'_\varphi \cos \varphi + u''_\varphi \sin \varphi, \\ u_s &= u'_\varphi \sin \varphi - u''_\varphi \cos \varphi \end{aligned} \quad (b_2)$$

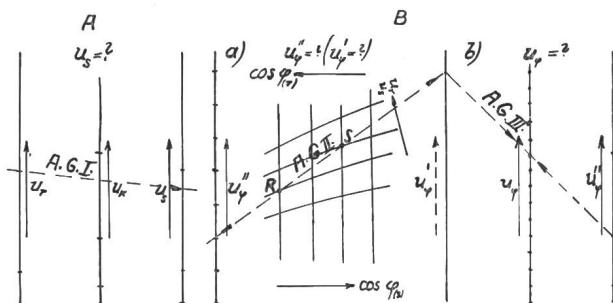
und weiter

$$\begin{aligned} u'_\varphi \frac{\cos \varphi_{(r)}}{u_r} + u''_\varphi \frac{\sin \varphi_{(r)}}{u_r} &= 1, \\ u'_\varphi \frac{\sin \varphi_{(s)}}{u_s} - u''_\varphi \frac{\cos \varphi_{(s)}}{u_s} &= 1, \end{aligned} \quad (b_3)$$

wobei bezüglich der Zeiger das entsprechende wie vorhin gilt. Die Vertafelung dieses Systems ergibt aber wie vorhin je eine Tafel mit zwei parallelen

⁵⁾ A. Fischer, Ueber ein neues allgemeines Verfahren zum Entwerfen von graphischen Rechentafeln (Nomogrammen), insbesondere von Fluchtlinientafeln. Z. angew. Math. Mech. 1927, H. 3 und 5; 1928, H. 4; 1929, H. 5.

Leiterträgern für u'_φ und u''_φ und je einem Netz für u_r , $\varphi_{(r)}$ bzw. u_s , $\varphi_{(s)}$, die aber wieder zusammenfallen, so dass die Parallelenscharen für $\cos \varphi$ durch Zeiger gekennzeichnet sein müssen. Lagert man die durch Uebereinanderlagerung beider Tafeln entstandene neben die Tafel für die Funktionsbeziehung (a) mit gemeinsamer u'_φ -Leiter, so ist ohne weiteres ersichtlich, dass u'_φ nunmehr Hilfsveränderliche geworden ist, so dass die betreffende Leiter unbeziffert bleiben kann und bloss als «Zapfenlinie» dient.



A.G.: Ablesegerade! NB: $\cos \varphi_{(r)}$ gehört zu u'_φ !

Fig. 1.
Nomogramm für die Berechnung der Spannungsänderung eines Transformators.

Fig. 1 zeigt schematisch das durch die Tafel für (c) vervollständigte Rechenbild für das gesamte System (a) bis (c).

3. Benutzung der Tafel.

In der linken Tafel (A) wird durch «Ablesegerade I» zu dem gegebenen u_r und u_s u_φ bestimmt. Mit u_r , u_s und dem gegebenen φ wird in der linken Teiltafel (a) von (B) durch u_r und $\varphi_{(r)}$ aus der $\cos \varphi_{(r)}$ -Schar ein Netzpunkt R des ersten Netzes, durch u_s und $\varphi_{(s)}$ aus der $\cos \varphi_{(s)}$ -Schar ein Netzpunkt S des gemäss dem Vorstehenden mit dem ersten zusammenfallenden zweiten Netzes herausgegriffen. Durch R und S wird aber die «Ablesegerade II» festgelegt, die auf der u'_φ - bzw. u''_φ -Leiter die gesuchten Werte abschneidet. Verbindet man den «Zapfenpunkt» u'_φ mit dem eben gefundenen Wert u''_φ entsprechenden Leiterpunkt auf der rechten Leiter der rechten Teiltafel (b) von (B) durch die «Ablesegerade III», so ergibt ihr Schnittpunkt mit der u_φ -Leiter bereits das gesuchte u_φ , womit also die gestellte Aufgabe ohne jedwede Nebenrechnung oder Vernachlässigung gelöst erscheint.

4. Anmerkungen.

a) Das einsteils sehr vorteilhafte Zusammenfallen der Netze für u_r und u_s in ein *einziges* hat anderseits den Nachteil, dass zu einer eigenen Tafel (A) für die Funktionsbeziehung (c) geöffnet werden muss. Träten nämlich u_r und u_s als Bezifferungen zweier *verschiedener* Kurvenscharen auf, so könnte das u_r , u_s -Netz unmittelbar als Parameternetz für eine *Netztafel* für (c) dienen⁶⁾⁷⁾. Dies hätte also den

⁵⁾ A. Fischer, Ueber ein neues allgemeines Verfahren auf die Ermittlung der kritischen Drehzahlen stetig mit Masse belegter Wellen mit Längsbelastung und Kreiselwirkung (nach K. Karas). HDJ-Mitteilungen 1933 (erscheint demnächst).

⁷⁾ A. Fischer, Beiträge zur Nomographie. III. Z. angew. Math. Mech. (erscheint demnächst).

grossen Vorteil, dass alle vier Funktionsbeziehungen des Problems in einer einzigen Tafel (B) vertafelt werden könnten. Es wäre also die gesonderte Aufsuchung von u_s aus u_k und u_r mit Hilfe der Tafel (A) nicht mehr nötig.

β) Von der im vorstehenden dargelegten Vertafelungsart eines Paares linearer Gleichungen mit funktional-veränderlichen Koeffizienten habe ich in einer Arbeit⁸⁾ über das «Integralrelief» eine ausserordentlich wichtige Anwendung gemacht. Da diese Arbeit einerseits das bekannte «Sinusrelief und Tangensrelief» von Fritz Emde in einen allgemeinen Problemkreis einfügt, anderseits aber selbständiges Interesse auch in der Elektrotechnik beansprucht, sei auf sie hinzuweisen gestattet.

y) Wie schliesslich nur kurz erwähnt sei, treten Gleichungspaare von der Form (b) in der Mathematik und in den angewandten Wissenschaften sehr häufig auf. Man hat daher in den im vorstehenden erörterten beiden Vertafelungsarten ganz allgemeine Verfahren, um die graphischen Verfahren (Darstellung durch Ellipsen!)⁴⁾ durch nomographische zu ersetzen.

⁸⁾ A. Fischer, Ueber das allgemeine «Integralrelief» zur nomographisch-graphischen Lösung von Randwertaufgaben gewöhnlicher linearer Differentialgleichungen 2. Ordnung — das reelle Gegenstück zum «Sinusrelief und Tangensrelief in der Elektrotechnik» von Fritz Emde. HDJ-Mitteilungen des Hauptvereines deutscher Ingenieure in der Tschechoslow. Rep., 1933, H. 1/2.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Das grösste Flutkraftwerk-Projekt der Welt (am Severn, England).

621.311.21(42):621.209.3

Die im Jahre 1925 von der englischen Regierung eingesetzte Kommission, die mit dem Studium der Errichtung eines Flutkraftwerkes an der Einmündung des Severn in den Bristolkanal beauftragt wurde, hat ihren endgültigen Bericht erstattet, der durch die Regierungsdruckerei zum Preise von sh. 15/6 verkauft wird.

Das riesenhafte Projekt, für welches der Staat bereits die sehr ansehnliche Summe von rund 50 000 Pfund ausgegeben hat, ist das erste bis in alle Einzelheiten durchgearbeitete Projekt eines Grosskraftwerkes zur Ausnutzung der Energie der Gezeiten. Es umfasst folgende Grundzüge:

Ein Staudamm, der eine Strasse und eine Eisenbahnlinie trägt, soll quer über den Severn, parallel zur bestehenden Eisenbahnunterführung, angelegt und mit Schleusen für die Schiffahrt ausgerüstet werden. Das Kraftwerk soll mit dem Staudamm verbunden und mit 72 Kaplan-turbinen von je 12 500 kW bei 62,5 U/m ausgebaut werden. 67 Gruppen sind für den ständigen Betrieb, 5 als Reserve gedacht. Die erzeugbare Bruttoenergiemenge wird zu 2,25 Milliarden kWh pro Jahr errechnet, die dem Landesleitungsnetz («grid») lieferbare Nettoenergiemenge zu ca. 2,207 Milliarden kWh. Die Gesamtkosten einschliesslich Bauzinsen werden mit rund 38 Millionen Pfund, wovon rund 20,5 Millionen für das Flutkraftwerk, 4,5 für die Strassen- und Eisenbahnbauten, 4,5 für die Schiffahrtsanlagen und 8,5 für die Bauzinsen, in Rechnung gesetzt. Die durchschnittlichen Erzeugungskosten der je nach den Gezeiten schwankenden Energiemenge werden zu ca. 0,18 d/kWh ab Kraftwerk angegeben.

Das Projekt wäre bedeutungslos, wenn nicht die Möglichkeit bestünde, zur Veredelung der stetig schwankenden Energieerzeugung des Flutkraftwerkes in seiner unmittelbaren Nähe ein Pumpspeicherwerk mit einem künstlichen Speicherbecken von ca. 20 Millionen kWh Speichervermögen bei einem Nettogefälle von 134 m zu errichten. Nach Abzug der für den Betrieb der Pumpen zur Füllung des Speicherbeckens erforderlichen Energiemenge verbleiben für die jährliche Energieabgabe an das Landesleitungsnetz 1,61 Milliarden kWh, wovon 704 Millionen kWh aus dem Flutkraftwerk und 906 Millionen kWh aus dem Speicherwerk. Von der in beiden Werken insgesamt erzeugbaren Energiemenge könnten 730 Millionen kWh bei dem in England üblichen Belastungsfaktor von 34 % und der Rest, etwa 9/16 der gesamten Produktion, bei einem solchen, der zwischen 15 und 10 % schwankt, als Spitzenenergie an das Landesleitungsnetz abgegeben werden. Die Gesamtkosten des Speicherwerkes einschliesslich Bauzinsen werden zu 11,5 Millionen Pfund und die Gestaltungskosten der veredelten Energie aus dem kombinierten Flut- und Speicherwerk zu 0,237 d/kWh angegeben. Die durchschnittlichen Kosten der aus thermischen Kraftwerken an das Landesleitungsnetz entsprechend einem Belastungsfaktor von 34 % abgegebenen elektrischen Energie stehen heute auf 0,375 d/kWh. Bei ausschliesslicher Berücksichtigung der modernen Erzeugungsanlagen (z. B. Battersea) betragen diese Kosten nur noch 0,3 d/kWh.

Um die Flut- und Speicherkraftwerksgruppe mit dem Landesleitungsnetz («grid») zu verbinden, müssten 1,5 Mil-

lionen Pfund für die Errichtung der Hochspannungs-Verbindungsleitungen in Rechnung gesetzt werden. Bei Berücksichtigung dieser Auslagen ergeben die Jahreskosten der im kombinierten Flut- und Speicherwerk erzeugten Energie rund 2,451 Millionen Pfund. Die entsprechenden Jahreskosten der in thermischen Kraftwerken bei gleichen Verhältnissen erzeugten Energiemenge würden 3,737 Millionen Pfund betragen. Es ergibt sich somit eine jährliche Ersparnis zugunsten des Flutkraftwerkes von 1,286 Millionen Pfund und die Energieerzeugungskosten aus diesem Kraftwerk wären bei 3½ % Verzinsung etwa ⅓ derjenigen eines modernen thermischen Kraftwerkes.

Es wird vorgeschlagen, den Bau auf 15 Jahre zu verteilen und im Jahre 1937 zu beginnen. Hierbei könnten durchschnittlich 12 000 Menschen direkt und indirekt beschäftigt werden.

Trotz der sehr vorsichtig ausgeführten Berechnungen, bei welchen eine Spanne von 12,5 % eingesetzt wurde, stehen massgebende englische Kreise dem Mammut-Projekt sehr skeptisch gegenüber.

E. H. Etienne.

10. Deutsche Funkausstellung.

621.306(43)

Die ausserordentlich rasche Entwicklung des Rundfunks sowie die steigenden Ansprüche des Publikums brachten es mit sich, dass im Empfänger- und Lautsprecherbau jedes Jahr neue Geräte geschaffen werden mussten, um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Auch zur diesjährigen (10.) Ausstellung in Berlin wurde eine Reihe von Geräten entwickelt, die nicht nur hinsichtlich Trennschärfe durch Nutzung verlustärmer Baustoffe und Hochkreise genau die heutigen verschärften Empfangsbedingungen erfüllen, sondern vor allem in musikalischer Hinsicht einen wesentlichen Fortschritt bedeuten.

Alle Empfängerklassen der diesjährigen Funkausstellung haben ein charakteristisches Merkmal: Die elektrische Leistung im Lautsprecherkreis ist auf das doppelte bis dreifache von früher gesteigert worden. Um gute Musik zu machen, muss der Lautsprecher eine ziemlich grosse elektrische Energie aus dem Empfänger bekommen und eine erhebliche Kraftreserve für die Fortissimostellen vorhanden sein. Der Wirkungsgrad der Lautsprecher wurde durch Verdoppelung des Kraftflusses im Luftspalt und durch sorgfältige Dimensionierung der Einzelteile um ein Vielfaches gesteigert.

Der Volksempfänger wird von allen Fabriken hergestellt und im Handel für 76 RM. verkauft. Er ist ein 2-Röhrengerät. Mit den modernen 2-Röhrengeräten wird bereits am Tage zum Teil Fernempfang von 8 bis 12 Stationen gewährleistet. Die Steigerung der Empfangsqualität wird weitgehend durch Verbesserung der Einzelteile erzielt. Von gewöhnlichen Kreisen kam man zu den Ultrakreisen und heuer sind bei den hochwertigen Empfängern die sogenannten Hochkreise angewandt. Die Hochfrequenzspulen weisen hierbei einen sehr feinen Spezialeisenkern auf. Eine interessante Neuerung ist die laulose Abstimmung der Empfänger, die ohne Einschaltung des Lautsprechers lediglich durch ein Ablesen der Feldstärke des zu empfangenden Senders erfolgt. Man kann mühelos den Empfänger genau auf die Mitte der