

Zeitschrift:	Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber:	Association suisse des électriciens
Band:	36 (1945)
Heft:	15
Artikel:	Le vieillissement des huiles pour transformateurs en l'absence de cuivre : comportements des huiles dans les transformateurs à enroulements en aluminium
Autor:	Zürcher, M.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-1056486

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: 09.02.2026

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:

Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 23 77 44
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXVI^e Année

N° 15

Mercredi, 25 Juillet 1945

Le vieillissement des huiles pour transformateurs en l'absence de cuivre

Comportement des huiles dans les transformateurs à enroulements en aluminium¹⁾

Par M. Zürcher, Zurich

(Communication de la Station d'essai des matériaux de l'ASE)

621.315.615.2.0046

Examen du vieillissement des huiles pour transformateurs en présence de fer et d'aluminium et en l'absence de cuivre, c'est-à-dire dans un cas analogue à celui des transformateurs à enroulements en aluminium. Description d'une méthode de vieillissement qui s'écarte quelque peu de la méthode préconisée par l'ASE et permet, avec des résultats comparables à ceux de cette dernière, de procéder à un vieillissement des huiles dans des conditions définies, en présence de différents métaux. Des échantillons montrent que de nombreuses huiles actuelles, dont le vieillissement est fort rapide en présence du cuivre, se comportent beaucoup mieux en l'absence de ce métal et peuvent par conséquent être utilisées avantageusement dans des transformateurs à enroulements en aluminium.

Die Alterung von Transformatorölen in Gegenwart von Eisen und Aluminium und in Abwesenheit von Kupfer, entsprechend den Betriebsbedingungen im Transformator mit Aluminiumwicklungen, wird untersucht. In Anlehnung an die Vorschriften des SEV wird eine modifizierte Methode der Alterung beschrieben, deren Resultate sich mit denjenigen der SEV-Methode vergleichen lassen, und die gestattet, Oele unter definierten Bedingungen in Gegenwart verschiedener Metalle zu altern. An verschiedenen Mustern wird gezeigt, dass viele der heute auf dem Markt befindlichen Oele, welche in Gegenwart von Kupfer ungünstige Alterungseigenschaften aufweisen, sich in Abwesenheit von Kupfer bedeutend besser bewähren und daher zweckmäßig in Transformatoren mit Aluminiumwicklungen verwendet werden können.

(Traduction)

Le vieillissement des huiles pour transformateurs est le résultat de certaines réactions chimiques qui se produisent dans ces huiles après un service d'une durée plus ou moins longue. Il s'agit de polymérisations et d'oxydations de nature relativement compliquée, qui donnent lieu d'une part à des produits insolubles et, d'autre part, élèvent l'indice d'acidité. Les dépôts ainsi formés entravent la circulation de l'huile, gênent l'échange de chaleur et provoquent des suréchauffements locaux. Enfin, les acides qui se forment dans l'huile peuvent attaquer l'isolation de coton, surtout s'il se produit également des peroxydes qui détruisent très rapidement le coton.

La vitesse de réaction du vieillissement dépend du degré de raffinage et de la nature de l'huile, de la température et également de la présence de l'air, puisqu'il s'agit surtout de processus d'oxydation. Les métaux étant des catalyseurs particulièrement actifs au point de vue de l'oxydation, leur présence joue un rôle prépondérant dans le vieillissement des huiles minérales. Des recherches systématiques¹⁾ ont montré que spécialement le cuivre accélère beaucoup le vieillissement.

En raison des difficultés actuelles d'obtenir des huiles de première qualité et soigneusement raffinées, les transformateurs doivent très souvent être remplis d'huile de moins bonne qualité. D'autre

part, un très grand nombre de transformateurs à enroulements en aluminium, donc sans cuivre, sont maintenant en service. Il était par conséquent utile d'examiner jusqu'à quel point ces huiles de guerre peuvent être utilisées dans ces transformateurs. Dans ce but, nous avons procédé à des essais de vieillissement d'une série d'huiles remises à la Station d'essai des matériaux de l'ASE pour examen, d'une part en présence de cuivre et, d'autre part, en présence de fer et d'aluminium. L'essai d'une huile pour transformateurs s'opérant, selon les prescriptions de l'ASE²⁾, par vieillissement accéléré dans un récipient de cuivre et portant sur une assez grande quantité d'huile, nous avons dû appliquer une méthode d'essai légèrement modifiée, qui correspond cependant dans une large mesure à la méthode de vieillissement adoptée par l'ASE et donne des résultats comparables en tous points avec cette méthode.

Exécution du vieillissement artificiel

Pour procéder au vieillissement artificiel, nous avons toujours utilisé 150 cm³ d'huile dans des éprouvettes de 4 cm de diamètre et de 18 cm de hauteur (éprouvettes de dimensions prescrites par l'ASE pour la détermination du point de congélation) et des lames de métal de 1 cm de large sur 5 à 10 cm de long, disposées dans l'éprouvette de

¹⁾ Voir également la communication faite par l'auteur lors de la journée de l'ASE consacrée aux transformateurs; Bull. ASE 1944, No. 23, p. 680.

²⁾ H. Stäger, Bull. ASE 1924, No. 3, p. 93.

²⁾ Conditions techniques pour huiles isolantes (Publ. 124 de l'ASE).

telle sorte qu'elles baignent complètement dans l'huile. Afin d'éviter que ces lames n'adhèrent entre elles, nous les avons légèrement coudées ou tordues, pour que toute leur surface soit en contact avec l'huile. La surface de la lame de métal servait de mesure pour la quantité de métal agissant comme catalyseur. Le vieillissement s'opéra pendant 7 jours à une température de 110° C, selon les prescriptions de l'ASE. Les éprouvettes de verre furent plongées dans une étuve à bain d'huile avec agitateur, de telle manière que le niveau de l'huile à examiner soit d'environ 2 cm inférieur à celui de l'huile de l'étuve. Afin de permettre l'arrivée de l'air, les éprouvettes ont été disposées ouvertes dans l'étuve. Pour vérifier l'action sur le fil de coton, nous nous sommes servis d'un bâtonnet de verre de 10 mm d'épaisseur entouré d'un fil de coton, conforme aux prescriptions de l'ASE. La résistance du coton à la rupture fut déterminée avant et après l'essai.

Vieillissement en présence de cuivre

Pour obtenir des points de comparaison avec l'essai de vieillissement dans des récipients en cuivre

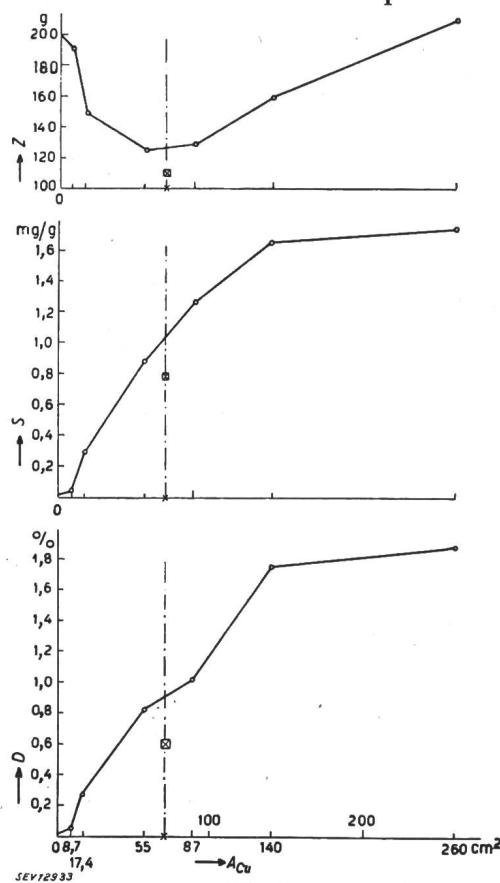


Fig. 1.

Résistance à la rupture, indice d'acidité et teneur en dépôts en fonction de la surface de cuivre

A_{Cu} Surface en $\text{cm}^2 \text{ Cu}/150 \text{ cm}^3$ d'huile

D Teneur en dépôts en pour cent du poids

S Indice d'acidité en mg KOH/g huile

Z Résistance à la rupture en g.

selon les prescriptions de l'ASE, nous avons procédé tout d'abord au vieillissement de différentes huiles dans les éprouvettes de verre, en augmentant pro-

gressivement les quantités de cuivre. Après un vieillissement de 7 jours à 110° C, la teneur en dépôts fut déterminée par précipitation à l'éther de pétrole et l'indice d'acidité par titration avec de la solution de potasse caustique décinormale, en présence de bleu alcalin servant d'indicateur. Le cuivre a subi le traitement préalable suivant: Les lames furent décapées à l'acide nitrique à 20 %, puis soigneusement rincées. Elles furent ensuite chauffées à environ 400° C sur un brûleur Bunsen et placées encore chaudes dans une éprouvette de verre difficilement fusible renfermant quelques gouttes d'alcool méthylique qui produisit instantanément la réduction de l'oxyde de cuivre. L'éprouvette était alors immédiatement raccordée à la pompe à jet d'eau, afin que l'alcool méthylique et la formaldéhyde s'évaporent et que les lames de cuivre se refroidissent sous vide, avant d'être directement plongées dans l'huile à examiner.

Les lames de métal étant, avec cette méthode de vieillissement dans une éprouvette de verre, plongées entièrement dans l'huile à examiner, la surface du métal qui agit comme catalyseur peut être définie avec précision et maintenue constante, tandis que lors du vieillissement selon la méthode prescrite

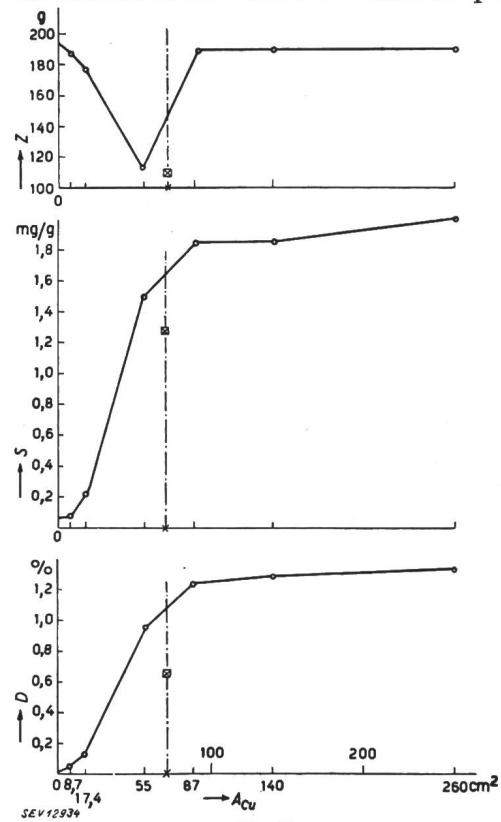


Fig. 2.

Résistance à la rupture, indice d'acidité et teneur en dépôts en fonction de la surface de cuivre

A_{Cu} Surface en $\text{cm}^2 \text{ Cu}/150 \text{ cm}^3$ d'huile

D Teneur en dépôts en pour cent du poids

S Indice d'acidité en mg KOH/g huile

Z Résistance à la rupture en g.

par l'ASE la surface de contact huile-métal-air augmente d'une façon constante, mais malaisée à définir, par suite des vapeurs d'huile qui se con-

densent à la paroi du récipient en cuivre et au couvercle, d'où elles s'écoulent sous forme liquide.

Tableau I

	Vieillissement dans:								
	éprouvette de verre							récip. en Cu selon ASE	
	avec Cu			avec Al					
Surface du métal en cm ² p. 150 cm ³ d'huile	0	8,7	17,4	55	87	140	260	260	70
Dépôts en %	0,04	0,07	0,32	0,83	1,09	1,75	1,89	0,04	0,58
Indice d'acidité en mg KOH/g huile	0,05	0,06	0,28	0,84	1,26	1,65	1,75	0,05	0,79
Résistance à la rupture du fil de coton en g	202	190	150	126	129	140	210	195	114

Tableau II

	Vieillissement dans:								
	éprouvette de verre							récip. en Cu selon ASE	
	avec Cu			avec Al					
Surface du métal en cm ² p. 150 cm ³ d'huile	0	8,7	17,4	55	87	140	260	260	70
Dépôts en %	0,01	0,03	0,14	0,95	1,26	1,28	1,33	0,01	0,64
Indice d'acidité en mg KOH/g huile	0,07	0,08	0,22	1,52	1,85	1,85	2,00	0,06	1,28
Résistance à la rupture du fil de coton en g	190	187	178	115	190	190	190	190	110

Les tableaux I et II, ainsi que les figures 1 et 2 indiquent, à titre d'exemples, les résultats du vieillissement de deux échantillons d'huiles en fonction de la surface du cuivre. Ainsi que l'on pouvait s'y attendre, la teneur en dépôts et l'indice d'acidité augmentent assez rapidement en présence d'une faible quantité de cuivre, au fur et à mesure que la surface du cuivre est accrue, puis demeure à peu près constante quand il y a une grande quantité de cuivre. La diminution de la résistance à la rupture du fil de coton atteint un maximum pour une quantité moyenne de cuivre; pour une quantité de cuivre plus grande, cette résistance diminue moins fortement. Cette anomalie apparente provient probablement du fait qu'en présence d'une grande quantité de cuivre, il se produit dès le début beaucoup de dépôts, qui constituent une couche protectrice autour du fil de coton. Il se pourrait aussi qu'en présence d'un puissant catalyseur les peroxydes très actifs se décomposent plus rapidement, ce qu'il y aurait encore lieu de prouver. Cette observation a été faite aussi bien pour du fil de coton bobiné sur des bâtonnets de verre, que pour du fil bobiné sur des mandrins de cuivre. Elle concorde d'ailleurs avec l'expérience pratique, car on sait qu'avec les huiles qui déposent beaucoup de dépôts la diminution de la résistance à la rupture du fil de coton est rarement forte.

Les courbes montrent que la surface de cuivre qui entre en jeu selon les prescriptions de l'ASE (70 cm² de cuivre par 150 cm³ d'huile, indiquée par les ordonnées des figures 1 et 2, en traits mixtes)

correspond précisément au domaine de la diminution maximum de la résistance à la rupture, ce qui a une grande importance pour l'essai de la qualité des huiles. Inversément, la surface de cuivre selon les prescriptions de l'ASE correspond au domaine où les courbes de la formation des dépôts et des acides croissent très fortement, de sorte qu'une légère modification de la surface de cuivre due à une erreur dans l'essai exerce une influence relativement considérable sur le vieillissement, ce qui est un désavantage au point de vue de la reproduction des mesures et de la fixation de la limite des erreurs. Signalons à ce propos, qu'après 7 jours la réaction n'est pas encore achevée et qu'elle pourrait se poursuivre. Les échantillons prélevés le septième jour n'ont pas atteint un état d'équilibre. La réaction a simplement été interrompue à ce moment-là, ce qui équivaut pratiquement à une mesure de la vitesse de réaction. Cette vitesse étant aisément influencée par divers facteurs, surtout quand il s'agit de réactions catalytiques, il y a là une nouvelle cause d'imprécision qui donne lieu à une certaine dispersion des résultats. En pratique, où la méthode du vieillissement préconisée par l'ASE a été éprou-

Tableau III

Numérotation	Dépôts en %		Indice d'acidité en mg KOH/g huile		Diminution de la résistance à la rupture du fil de coton en %	
	ASE	A1+Fe	ASE	A1+Fe	ASE	A1+Fe
1	0,17	0,009	0,25	0,19	0	8
2	0,30	0,028	0,67	0,10	43	4
3	0,19	0,025	0,31	0,17	4	0
4	0,77	0,011	0,65	0,08	0	0
5	0,53	0,014	0,25	0,08	21	0
6	0,16	0,0	0,31	0,08	20	5
7	0,52	0,035	0,50	0,17	0	11
8	0,37	0,0	0,40	0,11	8	0
9	0,27	0,023	0,34	0,20	18	8
10	0,55	0,085	0,45	0,20	14	27
11	0,08	0,018	0,14	0,06	24	4
12	0,40	0,019	0,67	0,08	65	0
13	1,40	0,775	0,70	0,42	0	45
14	1,0	0,573	0,59	0,34	6	26
15	1,20	0,306	0,85	0,30	0	37
16	1,20	0,327	0,85	0,30	0	39
17	0,75	0,220	0,34	0,34	0	43
18	0,04	0,018	0,09	0,08	0	0
19	0,38	0,044	0,40	0,14	20	20
20	0,07	0,0	0,39	0,06	12	0
21	0,25	0,08	0,25	0,17	8	6
22	0,35	0,015	0,67	0,57	45	0
23	0,08	0,0	0,22	0,06	20	0
24	0,35	0,012	0,76	0,06	41	0
25	0,40	0,011	0,98	0,08	59	0
26	0,40	0,013	0,98	0,03	48	0
27	0,36	0,016	0,87	0,04	48	4
28	0,22	0,026	0,63	0,06	45	5
29	0,18	0,04	0,36	0,11	0	14
30	0,16	0,0	0,34	0,06	15	0
31	0,65	0,05	0,95	0,11	0	0
Valeurs exigées par l'ASE	0,15		0,40		35	
Nombre d'échantillons qui ne répondent pas aux exigences	27	5	18	3	8	4

vée depuis plusieurs années, ces irrégularités n'affectent guère les résultats, les écarts entre les différentes qualités d'huiles étant sensiblement plus grands que les limites d'erreurs des résultats.

Vieillissement en l'absence de cuivre

Après avoir constaté, par ces essais préliminaires, que l'emploi d'éprouvettes de verre et de lames de cuivre conduit à des résultats comparables à ceux obtenus par la méthode préconisée par l'ASE, nous avons procédé au vieillissement d'un grand nombre d'huiles en présence de fer et d'aluminium, à l'exclusion de cuivre, ce qui correspond pratiquement aux conditions de service des transformateurs à enroulements en aluminium. Immédiatement avant leur emploi, les lames de fer furent décapées à l'acide chlorhydrique, soigneusement rincées et séchées à l'alcool. Les lames d'aluminium furent traitées à une solution de soude caustique. Les valeurs indiquées au tableau III ont été obtenues en partant des conditions suivantes: 150 cm³ d'huile + lames de fer de 80 cm² de surface + lames d'aluminium de 80 cm² de surface. Le rapport entre la surface de métal et le volume d'huile correspond à peu près au rapport utilisé pour le vieillissement selon la méthode de l'ASE dans un récipient de cuivre. Le vieillissement fut poursuivi pendant 7 jours à 110° C.

Les résultats portés dans la colonne «ASE» sont ceux du vieillissement artificiel selon l'ASE dans un récipient de cuivre. Dans la colonne «Al + Fe» sont portés les résultats obtenus dans les conditions ci-dessus.

Le tableau III montre que toutes les huiles, en l'absence de cuivre, ont une teneur en dépôts et un indice d'acidité beaucoup moins élevés. La plupart des huiles de qualité moyenne, qui ne répondent pas aux Conditions techniques de l'ASE, satisferaient par contre à ces exigences, si leur vieillissement avait lieu en l'absence de cuivre. Seules, quelques huiles de très mauvaise qualité (Nos 13 à 17) donnent également lieu, en l'absence de cuivre, à une forte formation de dépôts et d'acides, quoique dans une beaucoup plus faible mesure qu'en présence de cuivre. Pour quelques échantillons d'huile de mauvaise qualité, la diminution de la résistance à la rupture du fil de coton est plus forte en l'absence de cuivre, que lors du vieillissement selon l'ASE dans un récipient de cuivre. Cela provient, comme nous l'avons déjà dit, du fait qu'avec la méthode de l'ASE il se produit une très forte formation de dépôts, qui protège le fil de coton.

En raison de la pénurie d'huiles de bonne qualité, on est actuellement obligé d'utiliser également des huiles moins bonnes. Il faudrait donc faire en sorte que ces huiles soient surtout utilisées dans les appareils qui ne renferment pas de cuivre, de façon à pouvoir disposer des bonnes huiles pour les appareils où elles sont en contact avec du cuivre. La méthode de vieillissement que nous venons de décrire permet de se rendre parfaitement compte si une huile est appropriée ou non à des appareils qui ne renferment pas de cuivre.

Adresse de l'auteur:

M. Zürcher, Dr. ès sc. techn., chimiste de la Station d'essai des matériaux de l'ASE, Seefeldstrasse 301, Zurich 8.

Erfahrungen auf dem Gebiete des Gleichstrommaschinenbaues

Von Emil Dick, Gümligen *)

621.313.2

Im Anschluss an eine frühere Veröffentlichung im Bulletin SEV gibt der Verfasser weitere Erfahrungen aus seiner Tätigkeit bekannt. Es ergeben sich daraus neue Erkenntnisse, die zu einigen Änderungen gegenüber der früheren Arbeit führen. Neben der Bürstenspannung und der Lamellenspannung werden die Vorteile der Kompensationswicklung für Gleichstrommaschinen betrachtet.

Anschliessend an eine frühere Arbeit¹⁾ möchte ich noch über einen aussergewöhnlichen Fall berichten, der an einer mittelgrossen, mehrpoligen, im Probelauf befindlichen Dynamo festgestellt wurde. Es wurde beobachtet, dass bei leerlaufender, auf Nennspannung erregter Maschine überraschenderweise Bürstenfeuer auftrat, das aber schon bei einer verhältnismässig schwachen Belastung verschwand, um dann bei einer bestimmten Ueberlastung wieder aufzutauchen. Die Bürsten befanden sich in der neutralen Zone, und zwar in der Stellung maximaler Spannung, doch blieb das Leerlauf-Bürstenfeuer beim Verschieben der Bürsten (um etwa Lamellenbreite in beiden Drehrich-

Faisant suite à un article paru précédemment dans le Bulletin ASE, l'auteur expose d'autres expériences qu'il a faites au cours de sa carrière, gagnant ainsi de nouvelles connaissances, qui l'amènèrent à modifier sur quelques points son ancien travail. Outre la tension aux balais et la tension entre lames du collecteur, il envisage également les avantages de l'enroulement de compensation pour des machines à courant continu.

tungen) auch weiterhin in gleicher Stärke bestehen; ausserdem wurde ermittelt, dass die Funkenstärke eine Funktion der Maschinenspannung war, indem mit zunehmender Spannung das Bürstenfeuer immer heftiger wurde.

Da keine Zeit zur Verfügung stund, die Sache weiter zu verfolgen, wurde die Maschine trotz ihres eigenartigen Verhaltens abgeliefert, was ja mit Rücksicht auf die sich fast über den ganzen Arbeitsbereich erstreckende, günstige Kommutierung verantwortet werden konnte. Soweit ich mich noch entsinnen kann, konnte im ganzen Aufbau der Maschine nichts entdeckt werden, was gegen die damals herrschenden Richtlinien verstossen hätte. Leider sind mir die Daten der Maschine nicht mehr bekannt.

*) Der Verfasser dieses Artikels tritt am 28. Juli 1945 sein 80. Lebensjahr an.

¹⁾ Bull. SEV 1943, Nr. 10, S. 294...297.