

Filière Energie et techniques environnementales

Orientation Energies renouvelables

Travail de bachelor Diplôme 2016

Michael Crottaz

*Simulation numérique d'écoulement autour
d'une vanne papillon*

■ Professeur
Dr. Cécile Münch-Alligné

■ Expert
Nino Brunner

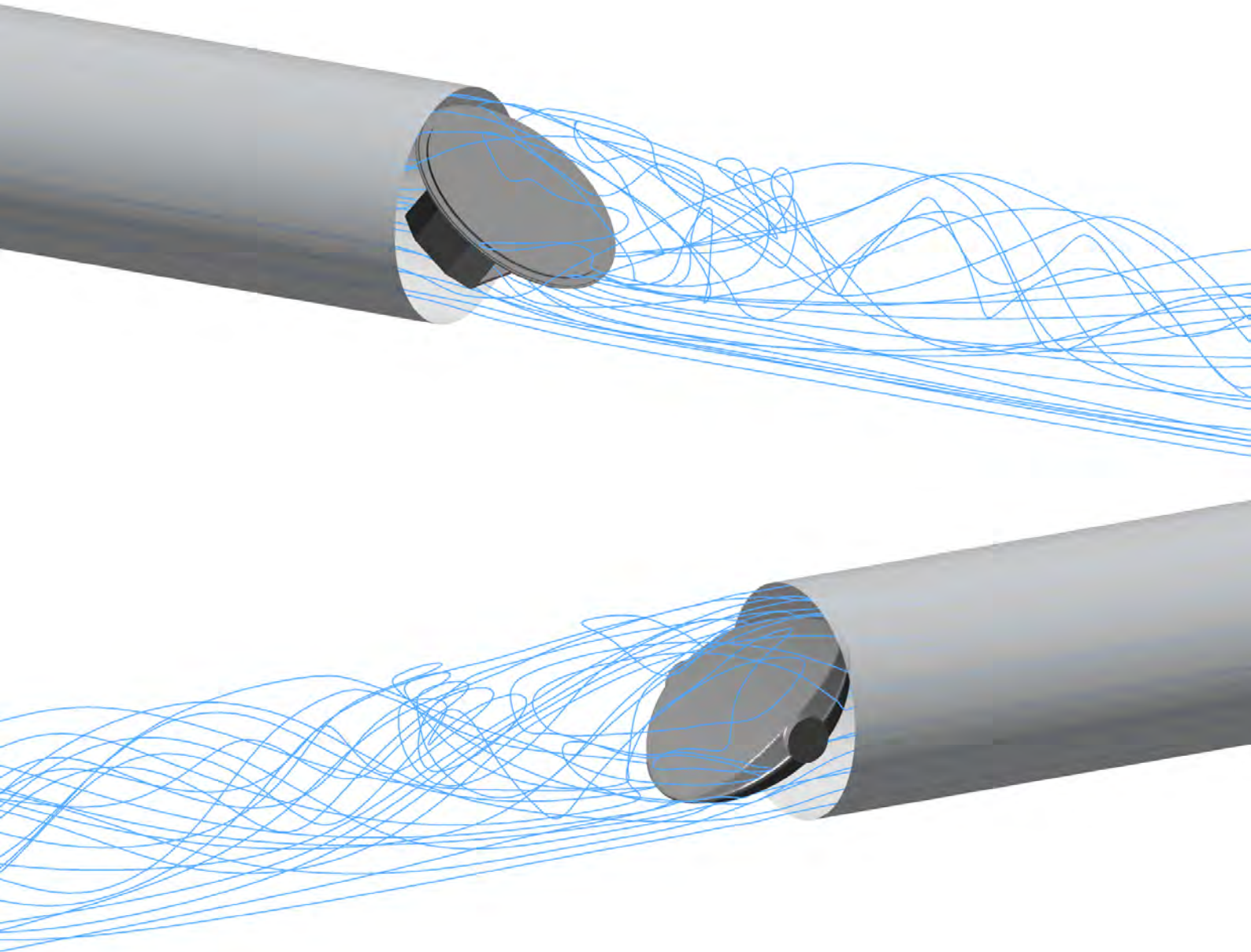
■ Date de la remise du rapport
15.07.2016

Ce rapport est l'original remis par l'étudiant.
Il n'a pas été corrigé et peut donc contenir des inexactitudes ou des erreurs.

HES-SO Valais

Simulation numérique d'écoulement autour d'une vanne papillon

Travail de Bachelor – Diplôme 2016



Etudiant

Michael Crottaz

Professeur

Cécile Münch-Alligné

Expert

Nino Brunner

TABLE DES MATIERES

Liste des figures.....	3
Liste des tableaux.....	5
Table des symboles	6
1 Introduction	7
1.1 Résumé	7
1.2 Les aménagements hydroélectriques	8
1.3 La sécurité dans les aménagements hydroélectriques	10
1.4 Les différentes vannes.....	12
1.5 Les vannes papillons.....	14
1.6 La centrale hydroélectrique d’Ackersand II.....	16
1.6.1 Ancienne vanne papillon	19
1.6.2 Nouvelle vanne papillon.....	19
1.7 Objectifs.....	20
2 Etat de l'art	21
2.1 La mécanique des fluides	21
2.2 Les pertes de charge.....	21
2.2.1 Les pertes de charge linéaires ou régulières	22
2.2.2 Le pertes de charge singulières	22
2.3 Le couple sur la vanne	23
2.4 La simulation numérique.....	24
2.4.1 Le maillage.....	25
2.4.2 Les modèles de turbulence	26
2.4.3 La couche limite.....	27
2.5 Les logiciels utilisés.....	28
3 Géométries	29
3.1 Ancienne vanne	29
3.1.1 Géométrie réelle	29
3.1.2 Géométrie simple	29
3.2 Nouvelle Vanne	30
3.2.1 Géométrie réelle	30
3.2.2 Géométrie simple	30
4 Setup numérique	31
4.1 Domaine de calcul	31
4.2 Maillage de base.....	32

4.3 Maillage final	33
4.4 Maillage structuré	34
4.5 Conditions aux limites	35
4.5.1 Calculs des débits pour l’ancienne vanne	35
4.6 Conditions générales	36
4.7 Outils de post-traitement	37
5 Critères de qualité	38
5.1 Convergence des résidus	38
5.2 Influence du maillage	39
5.2.1 y^+ aux parois	39
5.2.2 Couple sur la vanne	40
5.2.3 Pertes de charge	41
5.2.4 Maillage structuré	42
5.3 Influence du modèle de turbulence	42
5.4 Conclusion	43
6 Résultats	44
6.1 Ancienne vanne	44
6.1.1 AV - Champ de pression et lignes de courant	44
6.1.2 AV - Couple sur la vanne	47
6.1.3 AV - Pertes de charge	48
6.2 Nouvelle vanne	49
6.2.1 NV - Champ de pression et lignes de courant	49
6.2.2 NV - Couple sur la vanne	52
6.2.3 NV - Pertes de charge	53
6.3 Comparaison des vannes	54
7 Conclusion	56
Remerciements	57
Références	58
Annexes	59
Date et signature	59

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Plan en long de l'aménagement de Montpezat (France) – [1]	8
Figure 2 - A gauche, conduite forcée. A droite, sortie d'un puits blindé – [1]	9
Figure 3 - Plan en long de l'aménagement de Bieudron – Source : hydroweb2.free.fr.....	10
Figure 4 - Modèles physiques pour la simulation de cheminées d'équilibre – [8].....	11
Figure 5 - Vanne tiroir – [1]	12
Figure 6 - Vannes sphériques – [1]	12
Figure 7 - Vanne pointeau coudée, centrale de Lünersee - [1]	13
Figure 8 - A gauche, schéma d'une vanne pointeau coudée, centrale d'Oberaar. A droite, schéma d'un injecteur rectiligne couplé avec une vanne pointeau, centrale d'Ackersand II – [1]	13
Figure 9 - Vanne papillon "classique" – [1].....	14
Figure 10 - Vanne treillis, barrage de l'Hongrin – [1]	15
Figure 11 - Vanne biplan, centrale de Xavantes – [1].....	15
Figure 12 - Situation géographique de la station Ackersand II – Source : Google maps.....	16
Figure 13 - Vue d'ensemble du bassin versant de la vallée de Zermatt – [9].....	16
Figure 14 - Plan en long de l'aménagement d'Ackersand II – [9]	17
Figure 15 - Plan du dessus de la salle des machines d'Ackersand II – [9]	18
Figure 16 - Vue en coupe de côté d'une turbine Pelton et de son injecteur – [9]	18
Figure 17 - Schéma de l'ancienne vanne, fournit par Stahleinbau.....	19
Figure 18 - Coupe latérale du schéma Inventor de la nouvelle vanne dans la conduite réelle	19
Figure 19 - Maillage d'une bâche spirale – [17]	25
Figure 20 - Maillage structuré autour d'un profil NACA simplifié – Cours de modélisation de troisième année, HES-SO	25
Figure 21 – Maillage non structuré autour d'un profil NACA simplifié – Cours de modélisation de troisième année, HES-SO.....	26
Figure 22 - Comparaison des écoulements - Source : tech-alim.univ-lille1.fr	27
Figure 23 - Profils de vitesse laminaire et turbulent dans une conduite circulaire - Source : res-nlp.univ-lemans.fr.....	27
Figure 24 - Représentation de la couche limite - [15].....	28
Figure 25 - Géométrie réelle de l'ancienne vanne	29
Figure 26 - Photo de l'ancienne vanne démontée	29
Figure 27 - Géométrie simple de l'ancienne vanne.....	29
Figure 28 - Géométrie réelle de la nouvelle vanne - vue amont.....	30
Figure 29 - Géométrie réelle de la nouvelle vanne - vue aval.....	30
Figure 30 - Géométrie simple de la nouvelle vanne - vue amont	30
Figure 31 - Géométrie simple de la nouvelle vanne - vue aval	30
Figure 32 - Géométrie du domaine de calcul	31
Figure 33 - Coupe au centre du premier maillage "grossier"	32
Figure 34 - Maillage final - Zoom sur les mailles contre la vanne et la paroi.....	33
Figure 35 - Coupe au centre du maillage final.....	33
Figure 36 - Blocking du maillage structuré.....	34
Figure 37 - Coupe au centre du maillage structuré.....	34
Figure 38 - Schéma en coupe simplifié de l'aménagement hydroélectrique.....	36
Figure 39 - Représentation de l'ancienne vanne ouverte à : 90°, 80° & 15°.....	36
Figure 40 - RMS des résidus de la simulation du 3ème maillage	38
Figure 41 - RMS des résidus de la simulation du maillage final	38
Figure 42 - y^+ sur la vanne - maillage 6.....	40
Figure 43 - Couple simulé des maillages testés (ouverture 90°).....	40

Figure 44 - Variation du couple lors d'une simulation par rapport au couple maximum exercé sur la vanne	41
Figure 45 - Pertes de charge linéaires simulées des maillages testés	41
Figure 46 - Pertes de charge singulières simulées des maillages testés	41
Figure 47 - AV 90° - Champ de pression et lignes de courant	44
Figure 48 - AV 80° - Champ de pression et lignes de courant	44
Figure 49 - AV 70° - Champ de pression et lignes de courant	44
Figure 50 - AV 60° - Champ de pression et lignes de courant	44
Figure 51 - AV 50° - Champ de pression et lignes de courant	45
Figure 52 - AV 40° - Champ de pression et lignes de courant	45
Figure 53 - AV 30° - Champ de pression et lignes de courant	45
Figure 54 - AV 25° - Champ de pression et lignes de courant	45
Figure 55 - AV 15° - Champ de pression et lignes de courant	46
Figure 56 - AV 20° - Champ de pression et lignes de courant	46
Figure 57 - Champ de pression sur l'ancienne vanne - ouverture 40°	46
Figure 58 - Couple sur l'ancienne vanne	47
Figure 59 - Coefficients de pertes de charge singulières simulées pour l'ancienne vanne.....	48
Figure 60 - Pertes de charge simulées pour l'ancienne vanne	48
Figure 61 - NV 90° - Champ de pression et lignes de courant.....	49
Figure 62 - NV 80° - Champ de pression et lignes de courant.....	49
Figure 63 - NV 70° - Champ de pression et lignes de courant.....	49
Figure 64 - NV 60° - Champ de pression et lignes de courant.....	49
Figure 65 - NV 50° - Champ de pression et lignes de courant.....	50
Figure 66 - NV 40° - Champ de pression et lignes de courant.....	50
Figure 67 - NV 30° - Champ de pression et lignes de courant.....	50
Figure 68 - NV 25° - Champ de pression et lignes de courant.....	50
Figure 69 - NV 20° - Champ de pression et lignes de courant.....	51
Figure 70 - NV 15° - Champ de pression et lignes de courant.....	51
Figure 71 - Champ de pression sur la nouvelle vanne - ouverture 40°	51
Figure 72 - Couple sur la nouvelle vanne	52
Figure 73 - Coefficients de pertes de charge simulés de la nouvelle vanne	53
Figure 74 - Pertes de charge simulées de la nouvelle vanne	53
Figure 75 - Lignes de courant autour de l'ancienne vanne - 30°	54
Figure 76 - Lignes de courant autour de la nouvelle vanne - 30°	54
Figure 77 - Comparaison des couples simulés	54
Figure 78 - Comparaison des coefficients de pertes de charge simulés	55
Figure 79 - Comparaison des pertes de charges simulées	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Caractéristiques de la centrale d'Ackersand II	17
Tableau 2 - Paramètres des mailles du maillage grossier	32
Tableau 3 - Nombre de nœuds / d'éléments du maillage grossier	32
Tableau 4 - Paramètres des mailles du maillage final	33
Tableau 5 - Nombre de nœuds / d'éléments du maillage final.....	33
Tableau 6 - Nombre de nœuds / d'éléments du maillage structuré	34
Tableau 7 - Convergence des maillages testés.....	39
Tableau 8 - Nombre de nœuds / d'éléments des maillages testés	39
Tableau 9 - γ^+ sur la vanne et sur la conduite des maillages testés	39
Tableau 11 - Résultats de la simulation du maillage structuré	42
Tableau 12 - Comparaison des modèles de turbulence	42
Tableau 13 - Paramètres des simulations finales.....	43
Tableau 14 - Débits en fonction de l'ouverture	43

TABLE DES SYMBOLES

Symbole	Définition
Δp	Différence de pression
λ	Coefficient de pertes de charge linéaires
L	Longueur
D_h	Diamètre hydraulique
ρ	Masse volumique
\bar{C}	Vitesse débitante
Re	Nombre de Reynolds
ν	Viscosité cinématique
K	Hauteur de sable équivalente
ξ	Coefficient de pertes de charge singulières
M	Couple
k_M	Facteur de correction dépendant de l'ouverture de la vanne papillon
D_{vanne}	Diamètre extérieur de la lentille
g	Accélération de la pesanteur terrestre
y^+	Distance au mur adimensionnelle
u^*	Vitesse de frottement
y	Distance du mur le plus proche
C_p	Coefficient de pression
p	Pression
p_{ref}	Pression de référence
C_{ref}	Vitesse de référence
C_u	Vitesse axiale de l'écoulement
E	Chute nette

1 Introduction

1.1 RÉSUMÉ

L'objectif de ce projet est de prédire les caractéristiques d'une vanne papillon, organe de sécurité dans les installations hydroélectriques. Afin d'évaluer le couple exercé sur la vanne ainsi que son coefficient de perte de charge en fonction de son ouverture, des simulations numériques stationnaire de l'écoulement turbulent ont été réalisées et les résultats obtenus ont été comparés à des valeurs empiriques.

Ce projet s'inscrit dans le domaine de la mécanique des fluides, qui étudie le comportement des liquides et des gaz. C'est un domaine d'étude très varié permettant, par exemple, de comprendre l'effet de portance de l'air sur une aile d'avion (aérodynamique), de prévoir l'évolution du climat (météorologie), ou encore de dimensionner des infrastructures pour des stations hydroélectriques.

Depuis quelques dizaines d'années, grâce au développement de l'informatique, l'étude de la mécanique des fluides a beaucoup évolué et peut se faire à l'aide de simulations numériques des écoulements.

La modélisation et la simulation numérique des écoulements (*Computational Fluid Dynamics* – CFD) permettent de simuler des phénomènes décrits par le modèle physique de Navier-Stokes (composé de dérivées partielles), qui ne peut être résolu analytiquement¹. Ce progrès dans la simulation numérique a considérablement amélioré notre compréhension de la mécanique des fluides.

Lors de la réalisation d'un projet, il est intéressant de se poser la question de savoir si l'utilisation de simulations numériques est nécessaire. Ces simulations permettent de diminuer le nombre d'essais en soufflerie et, par conséquent, de diminuer les coûts expérimentaux. Cependant, les résultats d'une simulation numérique sont fortement dépendants de l'utilisateur. C'est pour cela que la première étape en simulation consiste à tester les modèles afin de garantir leur précision. Au final, il est souvent apprécié de comparer les résultats d'une simulation avec des valeurs empiriques ou des données expérimentales.

Dans le cadre de ce projet, des simulations numériques ont été réalisées afin de modéliser les efforts exercés par un écoulement d'eau sur une vanne de type « papillon » lors de sa fermeture et de comparer ces résultats avec les valeurs empiriques fournies par l'entreprise Stahleinbau, responsable du projet. Des simulations ont également été réalisées afin de comparer les caractéristiques de cette vanne papillon « biplan » à une autre vanne papillon « classique ».

Avant de présenter les résultats de ces simulations, une brève description du contexte du projet sera exposée. Ensuite, une clarification sur les méthodes numériques précédera la présentation des modèles 3D des vannes. Enfin, une présentation plus détaillée des simulations réalisées et des critères permettant de confirmer leur qualité sera énoncée.

¹ [6] *Computational Methods for Fluid Dynamics* – Second edition ; Joel H. Ferziger – Milovan Perić ; éditions Springer ; 1999

1.2 LES AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES

Il existe différents types d'installations hydroélectriques qui varient en fonction de la hauteur de chute disponible, de la situation géographique de la centrale ou encore des cours d'eau existants. Dans les prochains chapitres nous n'allons aborder que les centrales à haute chute / à accumulation, car la centrale Ackersand II dont il est question dans ce projet fait partie de cette catégorie.

Un aménagement hydroélectrique ne désigne pas simplement l'installation où l'énergie mécanique transportée par l'écoulement est convertie en énergie électrique, mais englobe l'ensemble des infrastructures, depuis la prise d'eau jusqu'au déversoir.

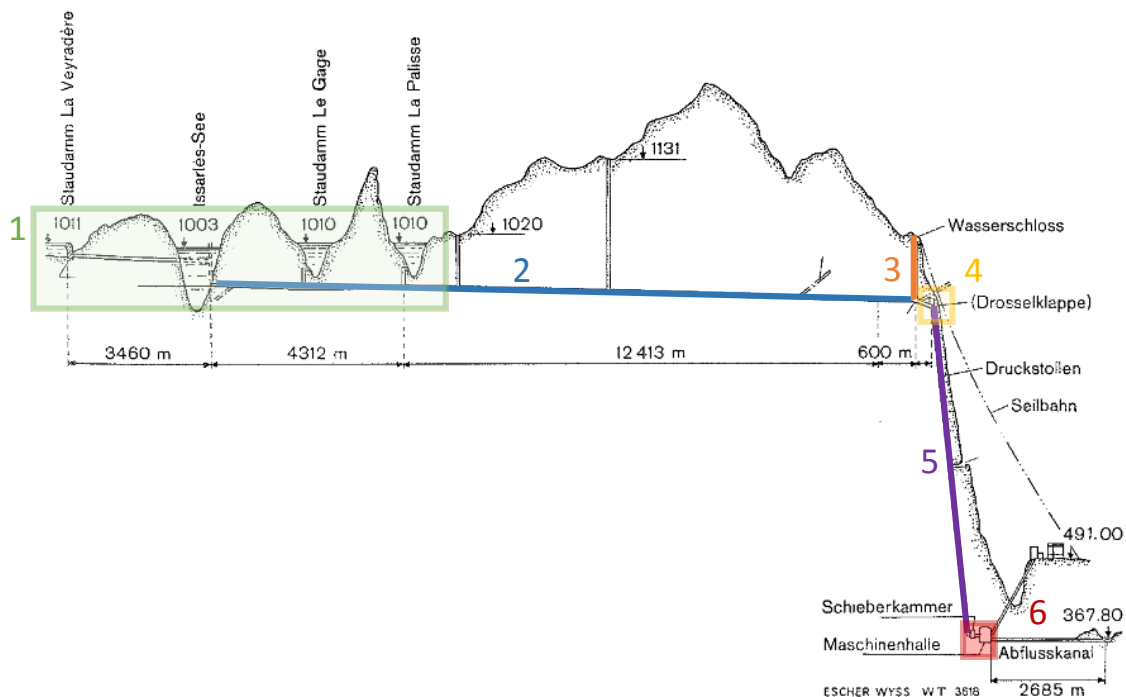


Figure 1 – Plan en long de l'aménagement de Montpezat (France) – [1]

Prenons exemple sur le profil en long de l'aménagement de Montpezat, ci-dessus, afin de lister les principaux composants d'un aménagement hydroélectrique :

1. **Lac d'accumulation.** Dans le cas de cette installation, la galerie d'amenée d'eau relie plusieurs réservoirs, permettant ainsi un volume utile d'accumulation plus important.
2. **Galerie d'amenée.** Tunnel de faible pente creusé dans la roche, amenant l'eau (à basse pression) depuis les réservoirs jusqu'au puits blindé.
3. **Chambre d'équilibre.** Ce dispositif est présent pour la protection de l'installation, nous en parlerons donc plus en détail au chapitre suivant, qui traite de la sécurité dans les aménagements hydroélectriques.
4. **Vanne de tête.** Cet organe est également présent pour la sécurité de l'aménagement. C'est ici que se situent les vannes dont il est question dans ce projet.

5. **Conduite forcée / Puits blindé.** En général, une conduite forcée est à l'air libre. Ainsi, seule la tôle constituant la conduite supporte la poussée hydraulique du fluide. Les puits blindés ont l'avantage d'être « collés » par la roche de la montagne où ils sont creusés. Cela permet entre autres de réduire l'épaisseur de la tôle de la conduite, tout en conservant la solidité de la structure. (Figure 2)

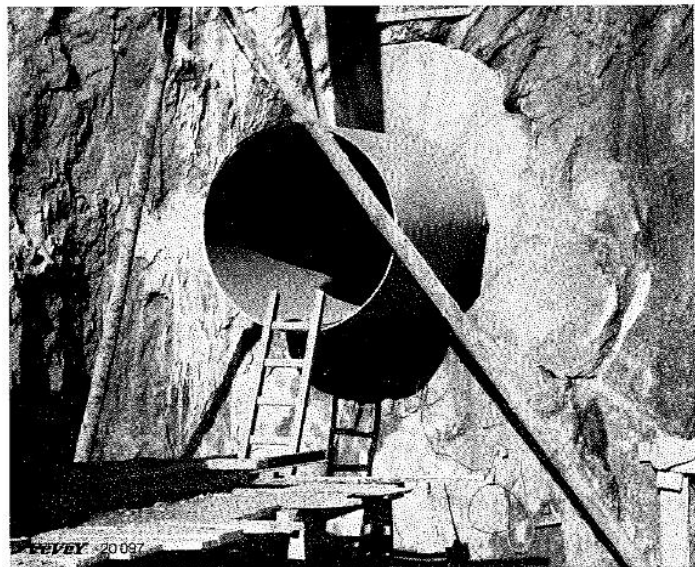


Figure 2 - A gauche, conduite forcée. A droite, sortie d'un puits blindé – [1]

6. **Chambre des vannes et salle des machines.** Les vannes qui se trouvent avant les machines sont généralement des vannes sphériques. Dans la salle des machines se trouvent les turbines et les alternateurs, et parfois d'autres éléments de réglage.

Une fois que l'écoulement a traversé la salle des machines, un canal de sortie le dirige vers une zone de déverse (lac, ruisseau, rivière, etc.).

1.3 LA SÉCURITÉ DANS LES AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES

Différents systèmes de sécurité sont présents dans une installation hydroélectrique. Dans ce chapitre, nous allons exclusivement parler de la sécurité mise en place en cas d'un accident survenant en aval de la vanne de tête.

Lorsqu'une conduite forcée cède, comme c'est arrivé au puits blindé de la centrale de Bieudron en décembre 2000 (Figure 3), il est nécessaire d'empêcher l'écoulement d'accéder à la conduite. C'est à cet instant que la vanne de tête intervient.

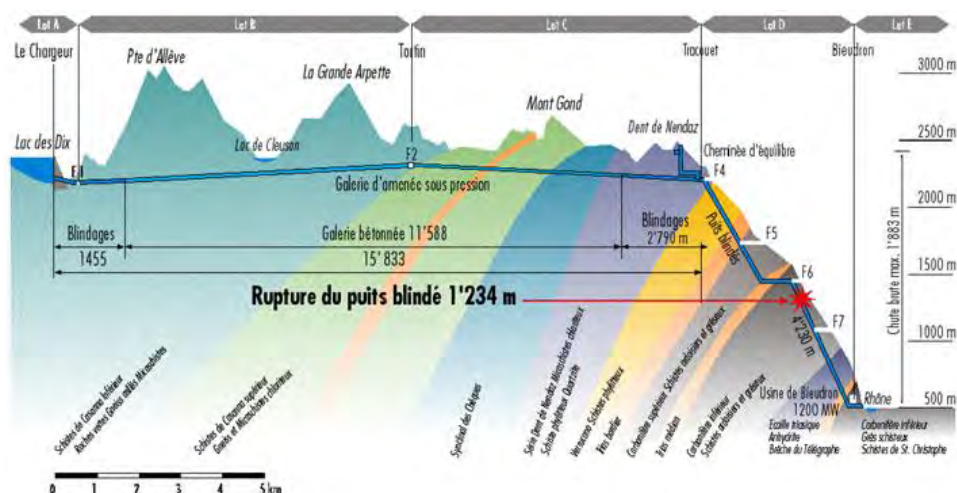


Figure 3 - Plan en long de l'aménagement de Bieudron – Source : hydroweb2.free.fr

La vanne doit être capable d'arrêter un débit plus important que le débit de fonctionnement nominal, ce que l'on appelle un débit « gueule bée », en un temps imparti relativement court (entre 80 et 120 secondes)² afin de limiter au maximum l'importance des dégâts.

Cependant, il ne faut pas que la fermeture de la vanne soit trop brusque pour éviter le phénomène de « coup de bélier ». En effet, lorsque la vitesse de l'écoulement varie, cela engendre un changement de pression dans la conduite³. Ainsi, lorsque la vanne de tête se ferme, l'écoulement passe de sa vitesse initiale à une vitesse nulle durant le temps de fermeture. Cette modification de vitesse n'est pas instantanée dans toute la conduite, mais va remonter jusqu'au réservoir sous la forme d'une onde. Si la modification de la vitesse de l'écoulement – et donc de la pression – est trop brusque, cela va créer une onde de choc puissante (et possiblement destructive) c'est le phénomène « coup de bélier » cité plus haut.

Afin de s'assurer que la galerie d'amenée résiste à une telle onde, il faudrait qu'elle soit surdimensionnée par rapport au fonctionnement nominal de l'installation. De manière à éviter de telles mesures, les aménagements hydroélectriques sont équipés d'une cheminée d'équilibre qui est dimensionnée de manière à absorber ce genre d'onde de pression.

² [8] Ecoulements transitoires dans les aménagements hydroélectriques, 1 – Coup de bélier ; Dr. Christophe Nicolet

³ [7] Hydraulique et hydrologie – 2e édition ; Saad Bennis ; Presses de l'université du Québec ; 2007

Une cheminée d'équilibre (ou chambre d'équilibre) est de façon plus générale présente pour équilibrer la pression dans l'installation lors de variations de débit, mais elle doit aussi être capable de supporter un accident de type coup de bélier.

Il est également intéressant de noter que grâce à l'absorption d'une partie du débit excédentaire par la cheminée d'équilibre, cela permet de réduire le temps de fermeture de la vanne de tête et ainsi d'obtenir un niveau de sécurité plus élevé.

Ces deux éléments, la vanne de tête et la cheminée d'équilibre, ont donc un rôle crucial dans la sécurité de l'aménagement. Leur dimensionnement (temps de fermeture de la vanne, hauteur ou diamètre de la chambre d'équilibre) est en partie effectué grâce à des simulations numériques, mais également avec l'aide de modèles réduits, permettant ainsi d'observer le comportement de l'écoulement dans des situations d'urgence.



Figure 4 - Modèles physiques pour la simulation de cheminées d'équilibre – [8]

1.4 LES DIFFÉRENTES VANNES

Différents critères permettent de sélectionner quel type de vanne est le plus adapté à nos besoins. Trois critères principaux peuvent être utilisés pour comparer les vannes :

- La pression sous laquelle elles sont capables de travailler, et par conséquent pour quelle hauteur de chute
- L'encombrement nécessaire à leur système de fermeture
- Les pertes de charge qu'elles engendrent

Cette dernière donnée est particulièrement intéressante pour les centrales hydroélectriques, dont le but est d'avoir le plus d'énergie à disposition et par conséquent le moins de pertes possibles.

Vannes tiroir

Ces vannes ont été autrefois très appréciées, car elles permettent une étanchéité totale, n'engendrent que de faibles pertes de charge et ont un coût assez avantageux. En revanche, leur utilisation nécessite passablement d'espace, c'est pourquoi de nos jours, elles ne sont quasiment plus utilisées dans les installations hydroélectriques.

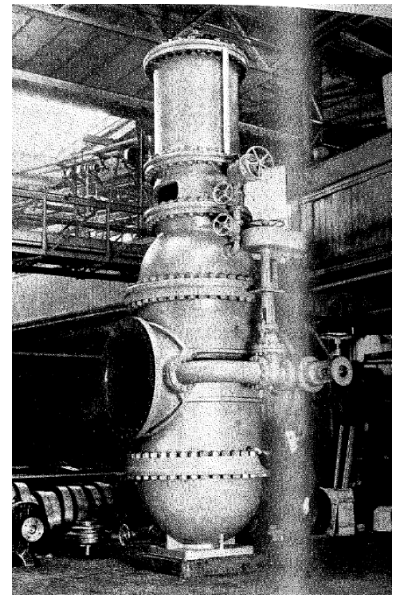


Figure 5 - Vanne tiroir – [1]

Vannes sphériques

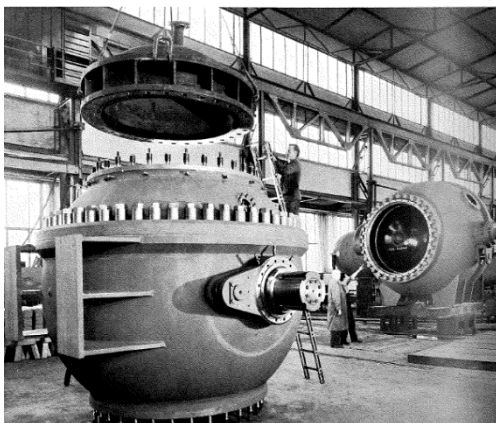


Figure 6 - Vannes sphériques – [1]

Pertes de charge quasi inexistantes, construction peu encombrante, simple de révision et d'une grande étanchéité : ces nombreux avantages font des vannes sphériques l'obturateur idéal pour les aménagements hydroélectriques. Elles possèdent néanmoins un défaut, leur prix. C'est principalement pour cette raison qu'elles ne sont pas installées par défaut lorsqu'une vanne est nécessaire dans une installation.

Vannes pointeau

Les vannes pointeau sont les moins sensibles aux perturbations dans l'écoulement. Elles génèrent cependant des pertes de charge relativement élevées qui sont dues au coude obligatoire de la conduite et de la présence même de l'obturateur, qui prend une place considérable dans la conduite. Elles sont généralement couplées avec un injecteur rectiligne, permettant ainsi une régulation de débit facile dans les installations avec une turbine Pelton.

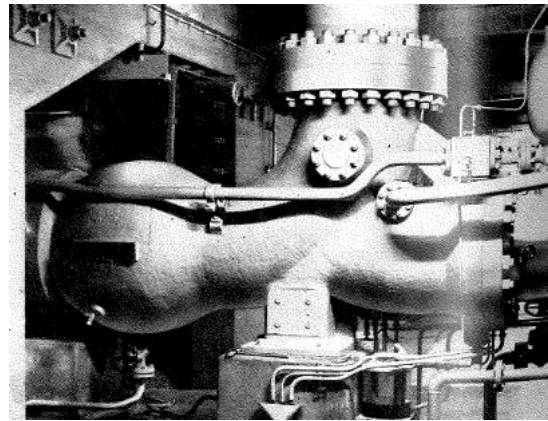


Figure 7 - Vanne pointeau coudée, centrale de Lünersee - [1]

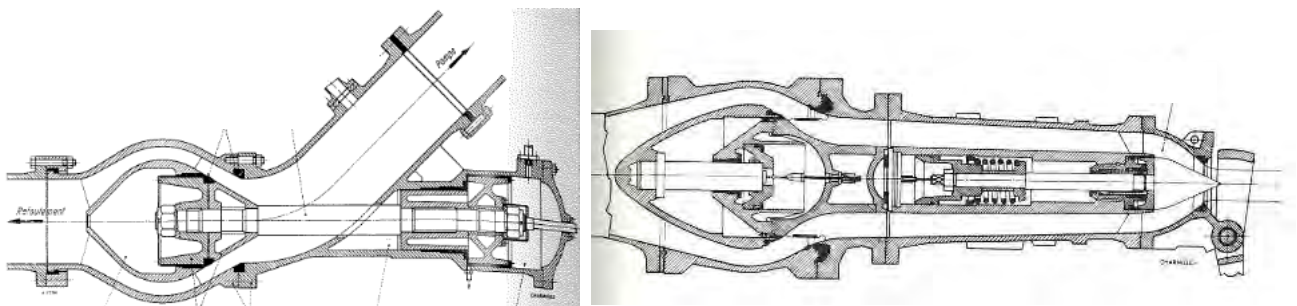


Figure 8 - A gauche, schéma d'une vanne pointeau coudée, centrale d'Oberaar. A droite, schéma d'un injecteur rectiligne couplé avec une vanne pointeau, centrale d'Ackersand II – [1]

Il existe encore différents types de vannes, mais les modèles présentés ici sont ceux qui sont le plus fréquemment utilisés dans les aménagements hydroélectriques. Nous allons maintenant parler d'un dernier type de vanne, également souvent présent dans le domaine de l'hydroélectricité, les vannes papillon.

1.5 LES VANNES PAPILLONS

Ces obturateurs présentent deux avantages qui leur ont permis de se faire une place de choix dans les aménagements hydroélectriques ; comparativement aux autres vannes, les vannes papillons possèdent le poids et l'encombrement les plus faibles.

Les installations hydrauliques étant de plus en plus souvent souterraines, l'encombrement réduit d'une vanne papillon permet une excavation et un bétonnage moins important que pour d'autres vannes. Cet obturateur est donc le meilleur marché du point de vue des frais d'investissements⁴.

Lorsque la vanne est complètement ouverte, la lentille (corps immergé de la vanne) se trouve dans le sens de l'écoulement à peu près au centre de la conduite. Dans les vannes papillon de type « classique », la présence de ce corps induisait passablement de perturbations dans l'écoulement, ce qui limitait l'utilisation d'une vanne papillon à des faibles et moyennes chutes d'eau (de quelques mètres à 200 mètres de chute). Pour les hautes chutes, l'épaisseur excessive de la lentille engendrait des pertes de charge trop importantes.

Ce problème est désormais résolu grâce à des structures de vannes papillons améliorées, que nous allons pouvoir comparer à la vanne papillon de type « classique ».

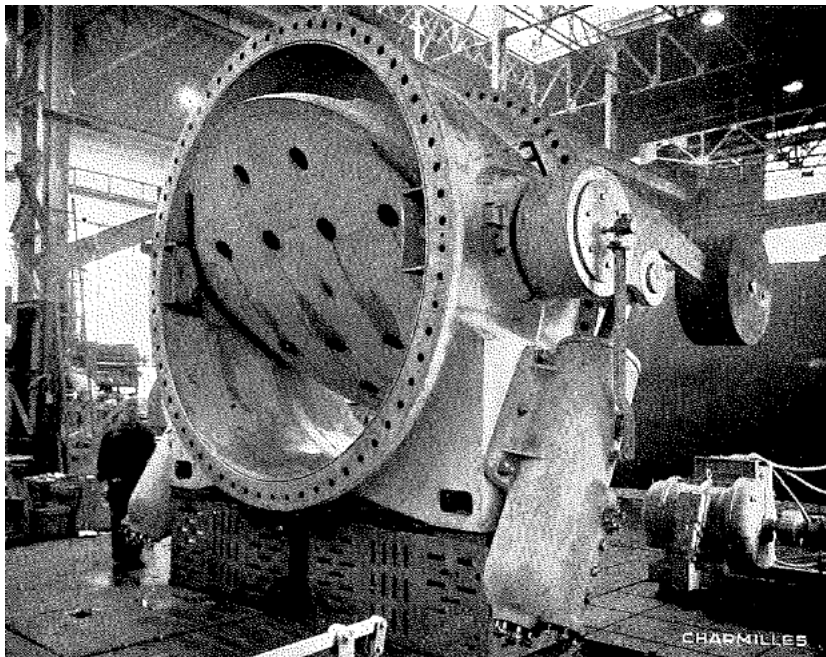


Figure 9 - Vanne papillon "classique" – [1]

Les vannes papillons sont utilisées dans différents endroits des installations hydroélectriques, mais elles sont principalement présentes en tête de galerie d'amenée ou en tête de la bêche spirale (avant les turbines) et servent de vannes de garde en cas d'accident.

⁴ [1] Feuilles de cours illustrées B 2ème édition ; Prof. Th. Bovet ; Institut de Machines Hydrauliques, EPFL

Comme expliqué précédemment, les vannes classiques posent deux problèmes, la lentille doit être la plus fine possible afin d'engendrer un minimum de perturbations dans l'écoulement, mais elle doit également être la plus rigide possible pour ne pas être déformée et doit donc avoir une certaine épaisseur.

La vanne papillon de type « treillis » permet de satisfaire à ces deux conditions. Elle se compose de deux tôles reliées par des entretoises, ce qui permet d'obtenir une structure très rigide tout en minimisant le sillage créé par la lentille. Grâce à cette rigidité supérieure, il est possible d'utiliser cette vanne pour des hautes pressions ou des grands diamètres de conduite, là où d'autres vannes seraient bien trop encombrantes ou coûteuses.

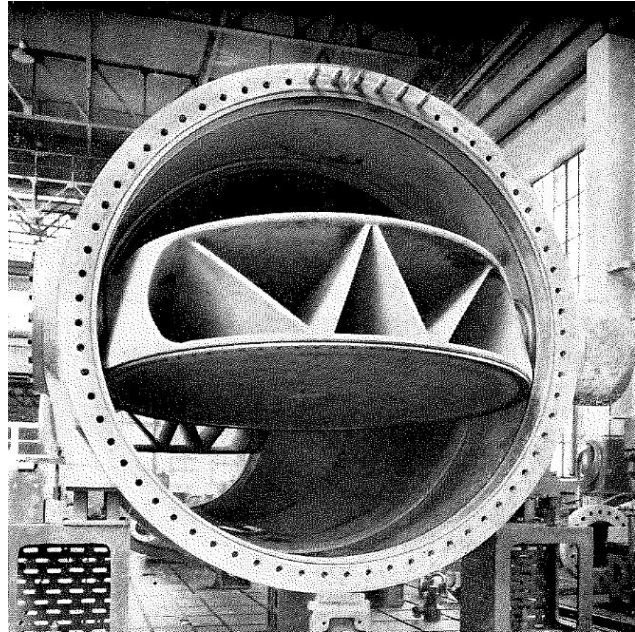


Figure 10 - Vanne treillis, barrage de l'Hongrin – [1]

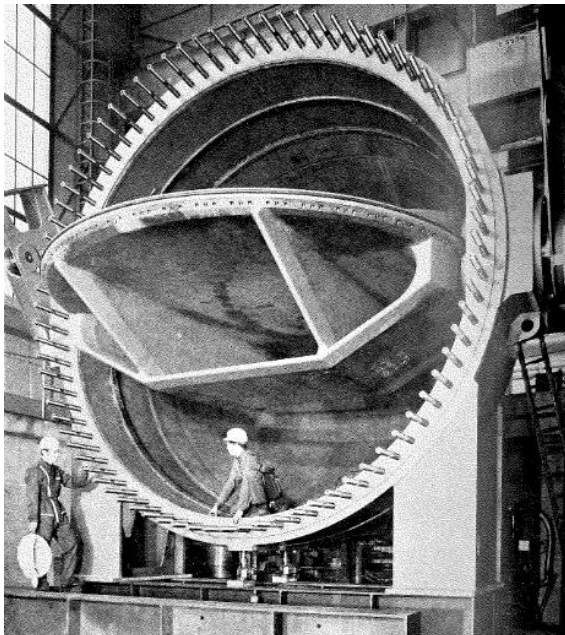


Figure 11 - Vanne biplan, centrale de Xavantes – [1]

Une autre structure de lentille papillon est le type « biplan ». Comme pour la vanne treillis, les pertes de charge d'une vanne de ce type sont théoriquement inférieures à celles d'une vanne classique. Sa structure permet une utilisation optimale des matériaux.

Elle est particulièrement appréciée pour de grands diamètres, en partie grâce à son poids modeste (comparativement à d'autres vannes).

1.6 LA CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE D'ACKERSAND II

La station hydroélectrique d'Ackersand II se situe dans le Haut-Valais, en bas de la vallée de Zermatt (Mattertal en allemand).



Figure 12 - Situation géographique de la station Ackersand II – Source : Google maps

Un réservoir d'équilibrage a été construit sur le cours d'eau de la Viège de Zermatt (Mattervispa) en amont de la commune de St Nicolas, assurant un débit disponible constant pour la centrale.

Une partie de l'écoulement est dévié depuis le réservoir par la galerie d'amenée jusqu'à la centrale d'Ackersand II.

Le reste de la Viège de Zermatt continue naturellement jusqu'à Stalden, où elle rencontre la Viège de Saas (Saaservispa) donnant naissance à la Viège (Vispa) qui va finalement aller se déverser dans le Rhône⁵.

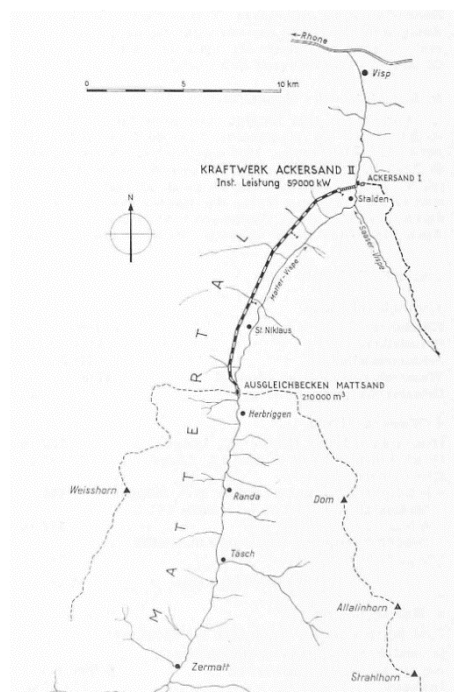


Figure 13 - Vue d'ensemble du bassin versant de la vallée de Zermatt – [9]

⁵ Site de la confédération Suisse – www.admin.ch

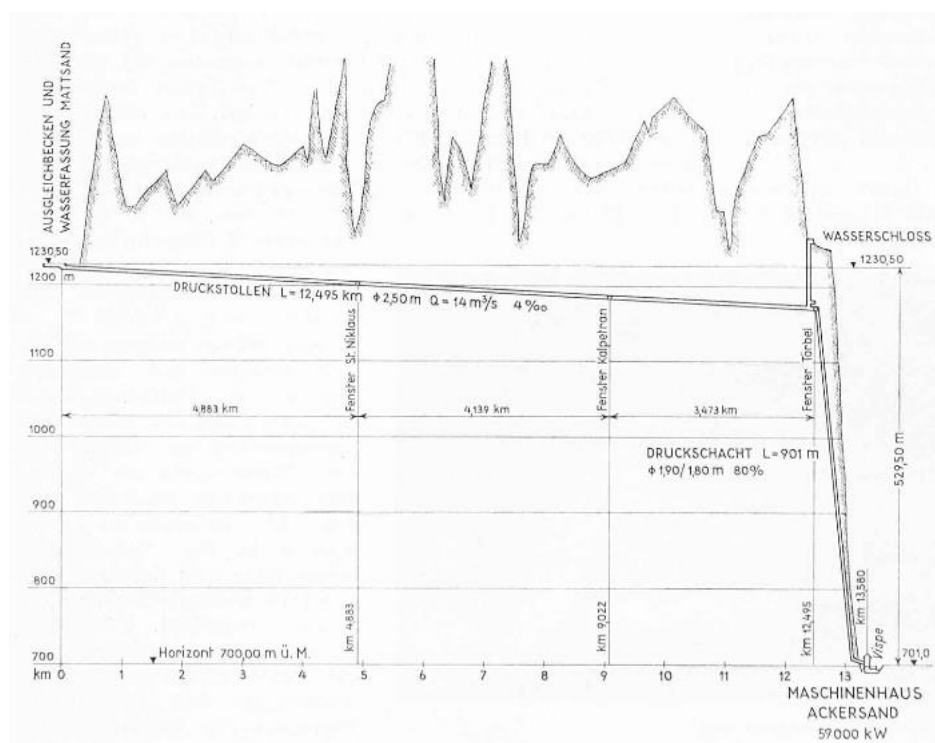


Figure 14 - Plan en long de l'aménagement d'Ackersand II – [9]

Hydrologie			
Surface du bassin versant en amont du réservoir d'équilibrage		381	km ²
Débits moyens de la Viège	Novembre à avril	2	m ³ /s
	Juin à septembre	40	
	Mai et octobre	10	
	Crue (1921)	150	
Débit nominal de l'installation		14	
Cotes			
Altitude max du réservoir d'équilibrage		1 230.5	m
Altitude des turbines		701	m
Chute brute		529.5	m
Chute nette (pour le débit nominal)		488.5	m
Composition de l'aménagement			
Réservoir d'équilibrage	Capacité	210 000	m ³
	Longueur	12 495	m
	Diamètre	2.5	m
Galerie d'amenée	Pente	0.4	%
	Chambre d'équilibre		
Vanne de tête de type papillon			
Puits blindé	Longueur	901.00	m
	Diamètre	1.9	m
	Pente	80	%
Salle des machines	Puissance installée	63	MW

Tableau 1 - Caractéristiques de la centrale d'Ackersand II

Ackersand II est une centrale à haute chute (> 200 m). Dans la salle des machines, deux générateurs sont installés et chacun d'entre eux est relié à deux turbines Pelton à axes horizontaux.

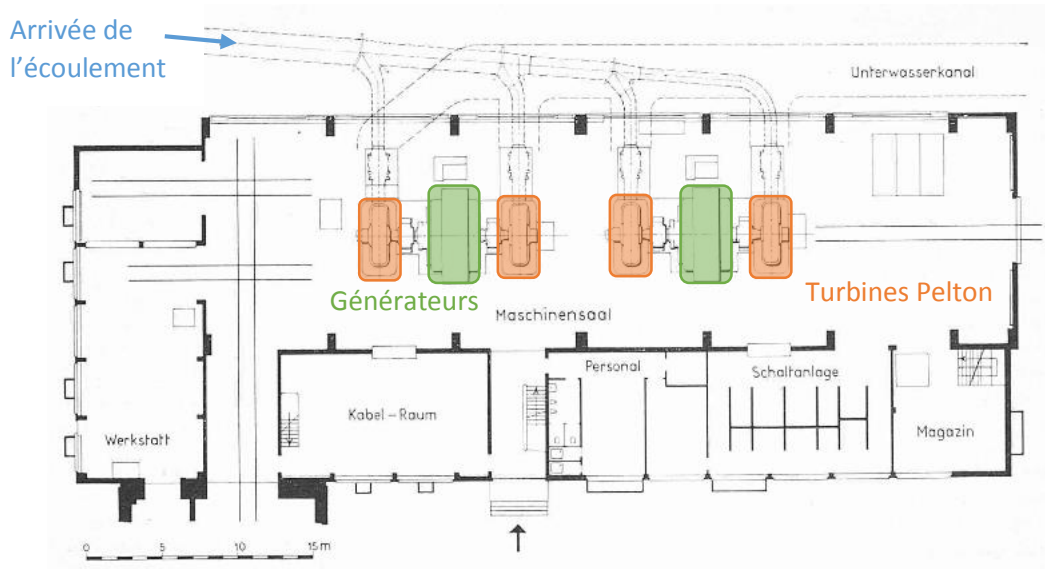


Figure 15 - Plan du dessus de la salle des machines d'Ackersand II – [9]

Chaque turbine Pelton possède un injecteur rectiligne couplé à une vanne pointeau afin de réguler le débit.

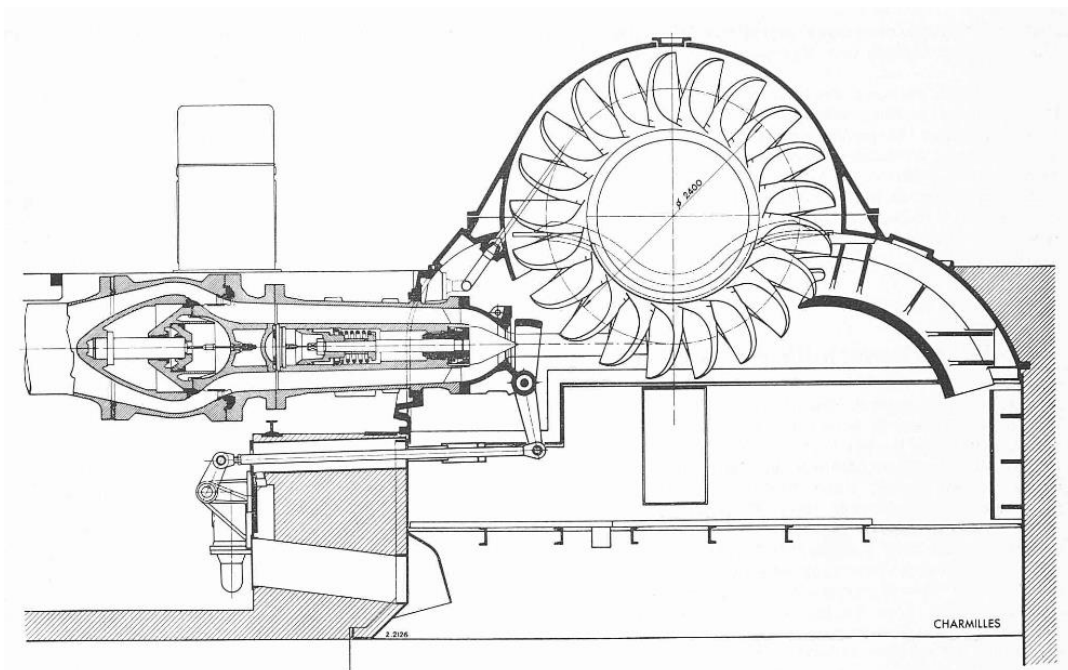


Figure 16 - Vue en coupe de côté d'une turbine Pelton et de son injecteur – [9]

Le premier groupe de l'aménagement a été mis en service le 25 octobre 1958. La vanne de tête qui a été installée à cette époque est restée en service plusieurs dizaines d'années et a récemment été remplacée par une nouvelle vanne conçue par l'entreprise Stahleinbau GmbH.

1.6.1 Ancienne vanne papillon

L'ancienne lentille était une vanne classique, constituée de deux moitiés coulées puis assemblées. Cette structure classique coulée rend la lentille très massive.

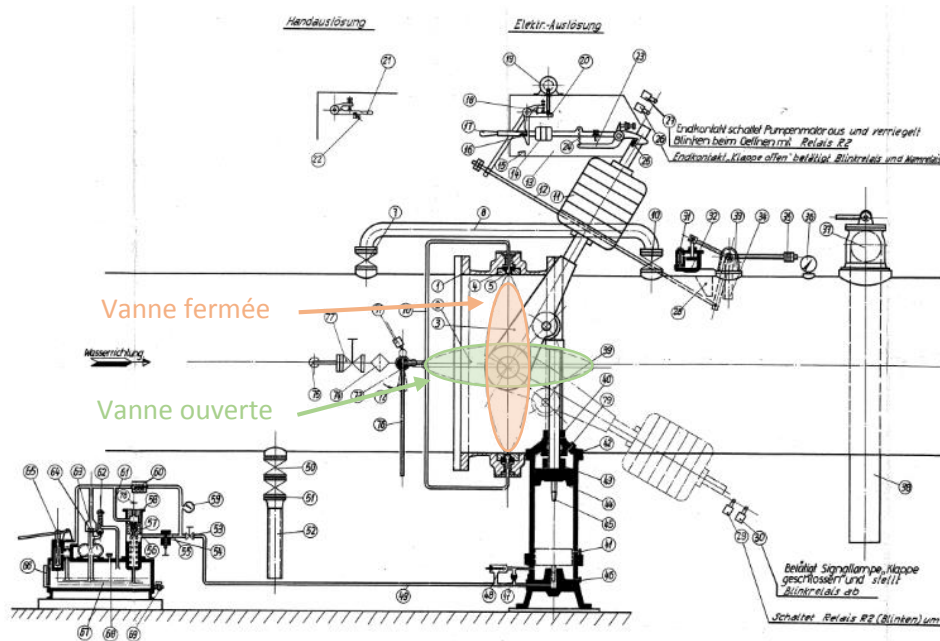


Figure 17 - Schéma de l'ancienne vanne, fournit par Stahleinbau

1.6.2 Nouvelle vanne papillon

Le nouveau modèle de vanne qui a été installé est de type biplan. Comme pour le modèle précédent, la lentille mesure 1.9 m de diamètre. La conduite ainsi que le système de fermeture ont également été rénovés.

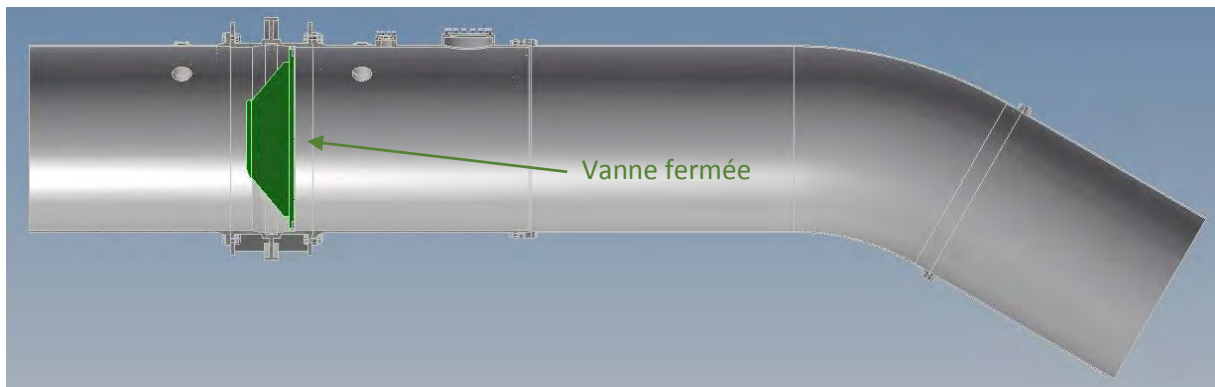


Figure 18 - Coupe latérale du schéma Inventor de la nouvelle vanne dans la conduite réelle

1.7 OBJECTIFS

L'entreprise Stahleinbau a proposé à la HES-SO Valais un projet de diplôme sur la prédiction des caractéristiques de deux vannes papillon par simulation numérique.

Le projet s'est réalisé en plusieurs étapes :

- Réalisation des maillages pour différentes ouvertures pour les deux vannes. La notion de maillage est expliquée plus loin dans ce rapport, dans le chapitre 2.4 « La simulation numérique ».
- Réalisation des simulations pour ces ouvertures pour les deux vannes.
- Analyse des résultats des simulations des deux vannes, particulièrement les perturbations dans l'écoulement après la vanne ainsi que le couple exercé sur cette dernière par le fluide.
- Comparaison des résultats des simulations de la nouvelle vanne avec les valeurs empiriques et expérimentales fournies par Stahleinbau GmbH.

2 Etat de l'art

2.1 LA MÉCANIQUE DES FLUIDES

Comme mentionné précédemment, la mécanique des fluides étudie le comportement des gaz et des liquides. Plus précisément, la mécanique des fluides fait partie de la mécanique des milieux continus qui permet de modéliser la matière de manière plus générale (solide, liquide, gazeux). L'hypothèse formulée suppose que la matière est continue. En réalité, la matière est composée de molécules, elles-mêmes composées d'atomes, eux-mêmes composés de particules, etc. La matière n'est donc pas continue.

Les imperfections dans la structure atomique d'un corps solide peuvent par exemple modifier sa résistance élastique ou sa densité en un point précis. Ainsi, la supposition que les propriétés de la matière sont continues permet de modéliser un corps en utilisant des particules assez petites pour recourir à des outils mathématiques, mais suffisamment grandes afin de négliger les variations moléculaires / atomiques⁶.

La mécanique des fluides étudie en particulier le comportement des fluides newtoniens, décrit par le modèle de Navier-Stokes. Ces fluides sont caractérisés par un coefficient de viscosité qui varie avec la pression et la température⁷. On peut encore diviser la mécanique des fluides en deux domaines d'étude : l'hydrostatique, qui décrit les fluides au repos, et l'hydrodynamique qui étudie les fluides en mouvement. Dans ce projet, nous travaillons bien évidemment dans l'hydrodynamique car nous analysons le comportement d'un écoulement autour d'un élément d'obturation.

Les caractéristiques physiques du fluide étudié ainsi que celles du domaine dans lequel il évolue vont nous permettre de connaître le type d'écoulement (laminaire ou turbulent), de déterminer la force que l'écoulement applique sur le corps de la vanne, ou encore de calculer les pertes mécaniques qui sont dues au déplacement de ce fluide.

2.2 LES PERTES DE CHARGE

Lorsque deux corps se déplacent l'un par rapport à l'autre, il y a une dissipation de l'énergie mécanique en chaleur par frottement. Dans la mécanique des fluides, ce phénomène est appelé « pertes de charge » et est représenté par une différence de pression pour les écoulements en charge ou une différence de hauteur d'eau pour les écoulements à surface libre.

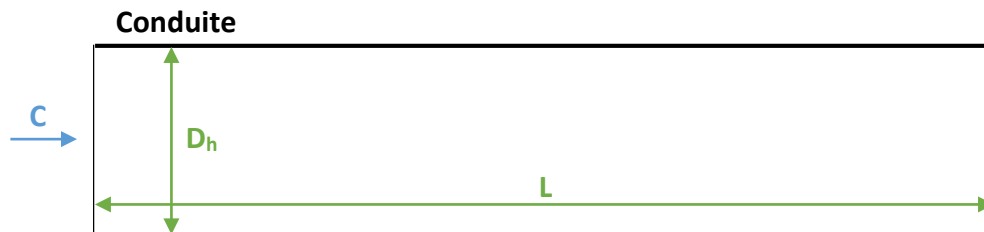
Les pertes de charge sont séparées en deux catégories, les pertes de charge linéaires et les pertes de charge singulières.

⁶ [10] Mécanique des milieux continus ; Nicolas Moës ; Ecole d'ingénieur, Nantes, France ; 2011

⁷ [11] Notes de cours – Mécanique des fluides ; Christophe Ancey ; Laboratoire hydraulique environnementale (LHE), EPFL, Lausanne ; version 2016

2.2.1 Les pertes de charge linéaires ou régulières

Ces pertes représentent l'énergie dissipée par un écoulement dans une conduite droite et sans changement de section.



$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L_{\text{conduite}}}{D_h} \cdot \rho_{\text{eau}} \cdot \frac{\bar{c}^2}{2} \text{ [Pa]} \quad [2.1]$$

Le coefficient de pertes de charge linéaires λ dépend de la nature de l'écoulement. Pour connaître ce coefficient il faut au préalable calculer le nombre de Reynolds. Ce nombre sans dimension permet de déterminer le type d'écoulement dans une conduite⁸.

$$Re = \frac{\bar{c} \cdot D_h}{\nu} \text{ [-]} \quad [2.2]$$

$$\text{si } Re < 2300 \rightarrow \text{Ecoulement laminaire} \rightarrow \lambda = \frac{64}{Re} \quad [2.3]$$

$$\text{si } Re > 2300 \rightarrow \text{Ecoulement turbulent} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{K}{3.7 \cdot D_h} \right) \quad [2.4]$$

Si l'écoulement est turbulent, il existe différentes équations afin de calculer le coefficient λ . L'équation [2.4] qui a été utilisée durant le projet est connue sous le nom d'équation de Colebrook-White.

Les pertes de charge linéaires dépendent :

- Du type de fluide (air, eau, etc.)
- De la nature de l'écoulement, et donc de sa vitesse
- De la qualité et des dimensions de la conduite

2.2.2 Les pertes de charge singulières

Ces pertes permettent d'exprimer l'énergie qui a été perdue par le fluide au passage d'un obstacle, changement de direction, rétrécissement, élargissement de la conduite ou passage autour d'un corps immergé.

$$\Delta p = \xi \cdot \rho_{\text{eau}} \cdot \frac{\bar{c}^2}{2} \text{ [Pa]} \quad [2.5]$$

⁸ [16] Cours d'introduction à l'hydraulique ; Cécile Münch ; HES-SO Valais ; 2015

Le coefficient de pertes de charge singulières ξ dépend de l'obstacle en question. Il est possible de connaître ce coefficient grâce à des tables de valeurs empiriques ou par expérimentation.

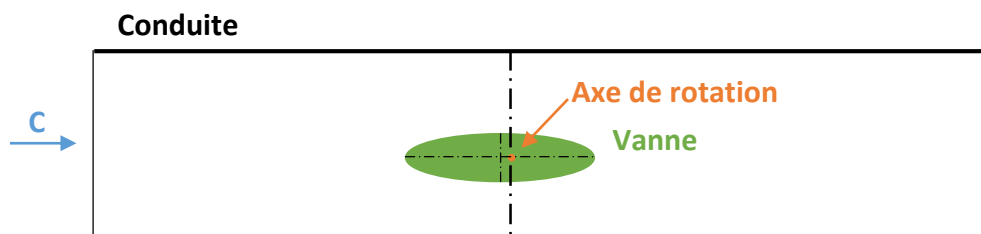
Les pertes de charge singulières dépendent :

- Du type de fluide
- De la vitesse de l'écoulement
- Du type d'obstacle

2.3 LE COUPLE SUR LA VANNE

Les vannes papillons étant principalement utilisées comme vannes de garde, le système qui les maintient en position ouverte est généralement un système « normalement fermé ». C'est-à-dire que lorsque le dispositif a un problème technique ou qu'un accident survient, le système « s'ouvre » et la vanne se ferme. Cela permet d'éviter les mauvaises surprises en cas d'accident.

De plus, afin de faciliter la fermeture de la vanne, son axe de rotation est décentré, ce qui permet de créer une force plus importante en amont qu'en aval de la vanne, appliquant ainsi un couple dans le sens de fermeture. Il ne faut tout de même pas que le couple exercé sur la lentille soit trop important, car cela impliquerait une structure mécanique bien trop grande. Il faut donc que le système de fermeture et la lentille soient correctement dimensionnés par rapport aux caractéristiques de l'installation.



Il est bien évidemment possible de mesurer le couple à l'aide d'une simulation numérique ou d'une expérience sur modèle réduit, mais il est également possible de le calculer grâce à la méthode empirique d'ED Brunner :

$$M = k_M \cdot \frac{D_{\text{vanne}}^3}{12} \cdot \rho \cdot (1 + \xi_{\text{vanne}}) \cdot \frac{\bar{C}^2}{2 \cdot g} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}] \quad [2.6]$$

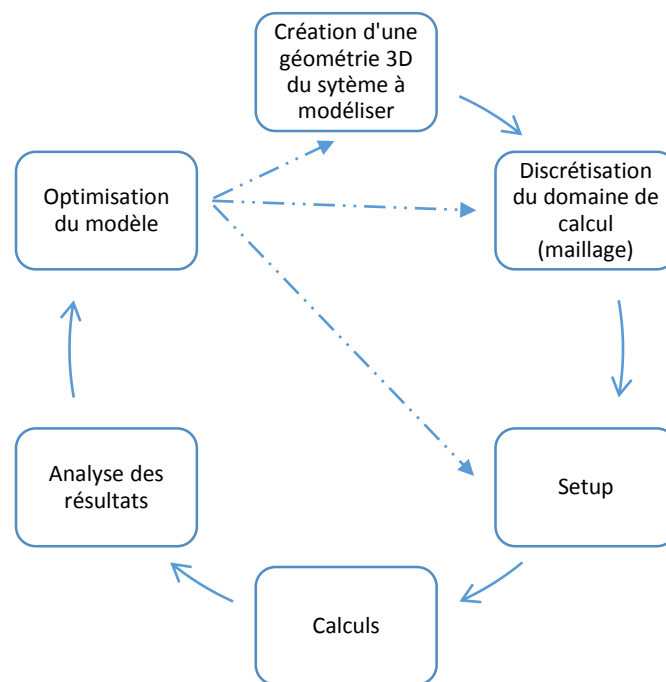
C'est avec cette méthode que nous avons comparé les résultats de nos simulations pour confirmer nos modèles.

2.4 LA SIMULATION NUMÉRIQUE

Grâce à l'évolution de l'informatique de ces dernières décennies, les ordinateurs sont désormais assez robustes pour effectuer des simulations numériques permettant de calculer des phénomènes physiques complexes.

Les équations décrivant le comportement d'un fluide sont composées de dérivées partielles. Pour les résoudre grâce à une analyse numérique, il est nécessaire d'utiliser la méthode des volumes finis. Comme il a été évoqué précédemment, la mécanique des fluides fait partie de la mécanique des milieux continus. C'est grâce à cette hypothèse qu'il est possible d'utiliser la méthode des volumes finis. La méthode des volumes finis, décrite de manière simple, consiste en la résolution approchée des dérivées partielles grâce à l'utilisation d'un algorithme discret mathématique à l'aide d'un maillage dans un domaine de calcul défini par des conditions limites⁹.

Pour effectuer une simulation numérique, il y a plusieurs étapes à réaliser :



⁹ [12] The Finite Element Method : Its Basis and Fundamentals, Sixth edition ; O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, J.Z.Zhu ; Helsevier Butterworth-Heinemann ; 2005

2.4.1 Le maillage

La discrétisation du domaine de calcul est une étape très importante du projet, car sa qualité va grandement influencer les résultats de la simulation.

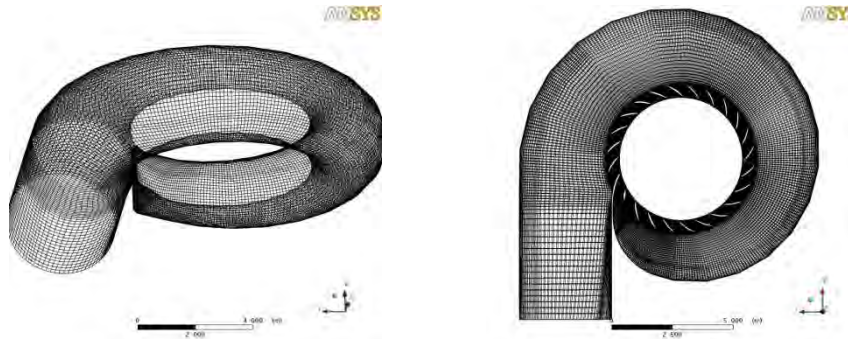


Figure 19 - Maillage d'une bâche spirale – [17]

Le logiciel de simulation va effectuer les calculs lui permettant de résoudre le comportement du fluide dans chaque cellule n fois. Ce nombre n d'itérations est paramétré dans le setup numérique. Ainsi, plus il y a d'éléments à calculer, plus la simulation va prendre du temps. Lors de la création du maillage, il est donc important de trouver un bon ratio qualité du maillage / temps de simulation.

Il existe deux types de maillages, les maillages structurés et non structurés.

Maillages structurés

Pour la création d'un maillage structuré, c'est l'utilisateur qui va diviser sa géométrie en blocs et paramétrer chaque bloc en fonction de la qualité qu'il recherche. Les maillages structurés sont composés de mailles hexaédriques.

Sur la *figure 19*, on peut voir une coupe en long du maillage structuré d'un profil d'aile NACA. L'objectif de cette simulation était de connaître les forces exercées par l'air sur le profil. Pour cela, un maillage « fin » (blocs orange) a été réalisé proche du profil. Dans le reste du canal plan, le maillage (blocs bleu) a été réalisé de telle sorte que le mouvement du fluide soit le mieux représenté avec le moins possible d'éléments, afin d'alléger le calcul.

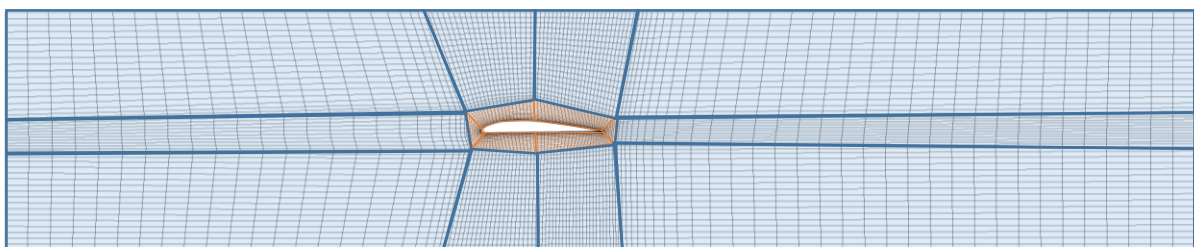


Figure 20 - Maillage structuré autour d'un profil NACA simplifié – Cours de modélisation de troisième année, HES-SO

Maillages non structurés

Plus souvent, les géométries à mailler sont bien plus complexes qu'un profil NACA. Dans certains cas, il est même impossible de créer un système de blocs pouvant s'attacher à la géométrie. C'est pour cela qu'il existe des maillages non structurés. L'utilisateur introduit les paramètres (taille des mailles, hauteur des mailles, etc.) qu'il désire dans le logiciel, et ce dernier crée le maillage en respectant ces paramètres.

Comme pour l'exemple précédent, les mailles sont beaucoup plus fines autour du profil, afin d'avoir une représentation du comportement du fluide la plus précise possible. Les maillages non structurés sont composés de mailles tétraédriques. Il est cependant possible de spécifier au logiciel d'utiliser des mailles hexaédriques contre les parois afin d'affiner encore le maillage dans la couche limite. Dans ce cas le maillage est « hybride ». C'est ce type de maillage qui a été utilisé dans ce projet.

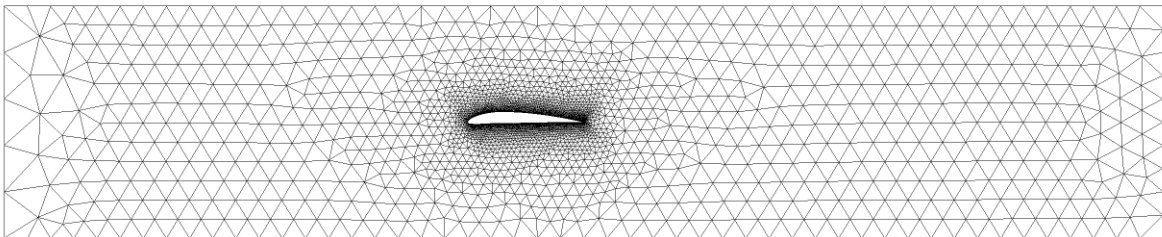


Figure 21 – Maillage non structuré autour d'un profil NACA simplifié – Cours de modélisation de troisième année, HES-SO

Les deux types de maillage ont leurs avantages. Un maillage non structuré est bien plus simple à réaliser et sera capable de discrétiser les géométries les plus complexes, mais sera également moins précis lors de la simulation. En effet, les transitions entre les mailles d'un maillage structuré étant plus « propres », la qualité de la résolution sera meilleure.

2.4.2 Les modèles de turbulence

Les modèles de turbulence constituent le troisième pilier de la simulation numérique. Le but de ces modèles est de créer un modèle mathématique qui décrit le comportement turbulent des écoulements.

La turbulence est un phénomène extrêmement complexe, ce qui explique qu'une moins grande précision a été obtenue jusqu'à présent comparativement à d'autres domaines de la modélisation numérique comme la création de maillages ou le développement d'algorithmes¹⁰. Comme le dit David C. Wilcox, un modèle de turbulence idéal devrait être capable de capturer le plus pertinent de la physique de l'écoulement tout en étant le moins complexe possible :

« [...], an ideal model should introduce the minimum amount of complexity while capturing the essence of the relevant physics. » (Wilcox, 1993)

¹⁰ [13] Turbulence Modeling for CFD ; David C. Wilcox ; DCW Industries ; 1993

Un modèle idéal n’a toujours pas été réalisé, mais il existe plusieurs modèles capables de modéliser certains aspects de la turbulence. On peut classer les modèles de turbulence en quatre familles :

1. Modèles algébriques
2. Modèles à une équation
3. Modèles à deux équations
4. Modèles du second ordre

De nos jours, ce sont les modèles à deux équations qui sont les plus répandus. Suivant le phénomène que l’on désire modéliser, certains modèles sont plus adaptés que d’autres. Une des étapes d’une simulation numérique est d’essayer différents modèles afin de mesurer leur influence sur les résultats et de déterminer lequel reflète le mieux la réalité¹¹.

2.4.3 La couche limite

La valeur y^+ est un nombre sans dimension qui permet de déterminer si le maillage proche des parois est grossier ou fin. Plus précisément, il représente le ratio entre l’écoulement turbulent / laminaire présent dans une cellule du maillage.

Comme évoqué au chapitre 2.2.1, un écoulement peut être laminaire ou turbulent. Dans le cas où il est laminaire, le fluide s’écoule de manière rectiligne par rapport à l’axe de la conduite et l’évolution de l’écoulement reste « constante » dans le temps. Pour un écoulement turbulent, le fluide se déplace de manière imprévisible avec un mélange important.

- a) Ecoulement laminaire
- b) Ecoulement intermédiaire
- c) Ecoulement turbulent

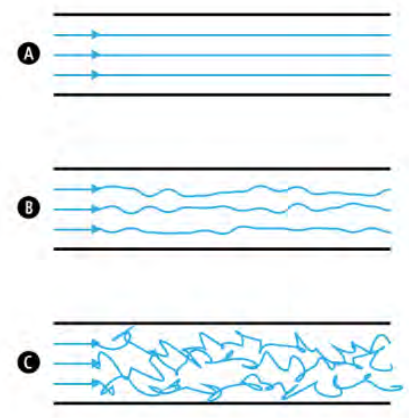


Figure 22 - Comparaison des écoulements
- Source : tech-alim.univ-lille1.fr

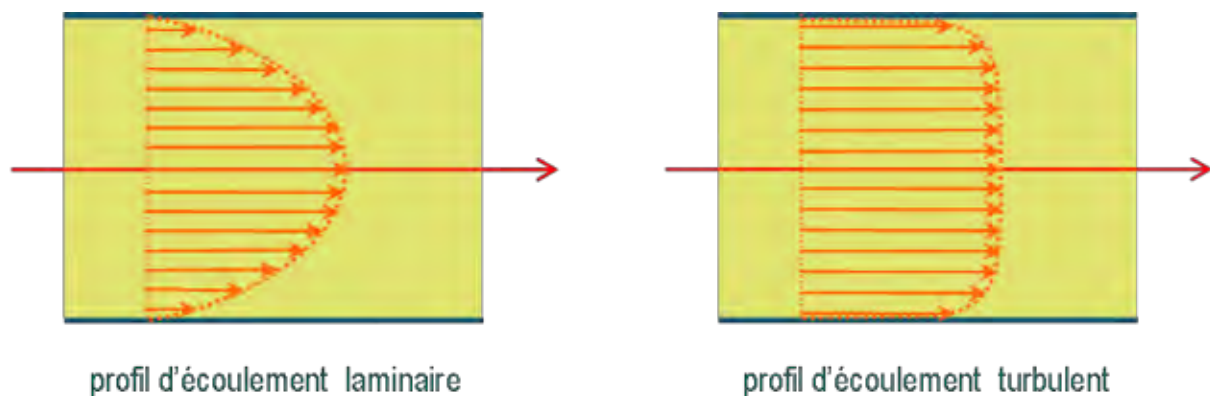


Figure 23 - Profils de vitesse laminaire et turbulent dans une conduite circulaire - Source : res-nlp.univ-lemans.fr

¹¹ [17] Cours sur la modélisation ; Cécile Münch ; HES-SO Valais ; 2015

Dans un écoulement turbulent, le profil de vitesse s'élargit autour de l'axe, créant une brusque variation de vitesse à proximité de la paroi. C'est dans cette région appelée la « couche limite » que la valeur y^+ est calculée.

La couche limite se décompose en quatre parties principales, chacune décrite avec une loi permettant de connaître la vitesse d'écoulement en fonction de la distance à la paroi. La valeur y^+ nous indique dans quelle région se trouve la première maille¹² :

- $y^+ < 11.3$ Sous-couche visqueuse – loi linéaire
- $11.3 < y^+ < 50$ Zone tampon – loi de Spalding (1961)
- $50 < y^+ < 500$ Sous-couche inertielle – loi de paroi (log)
- $y^+ > 500$ Couche extérieure

Cette valeur de 11.3 pour la sous-couche visqueuse est la valeur utilisée par le logiciel de simulation, qui modélise une partie de cette couche limite. Il va donc falloir que la première maille se trouve au-dessus de la partie modélisée, mais qu'elle ne soit également pas trop éloignée pour ne pas perdre des informations entre la partie modélisée et la partie simulée.

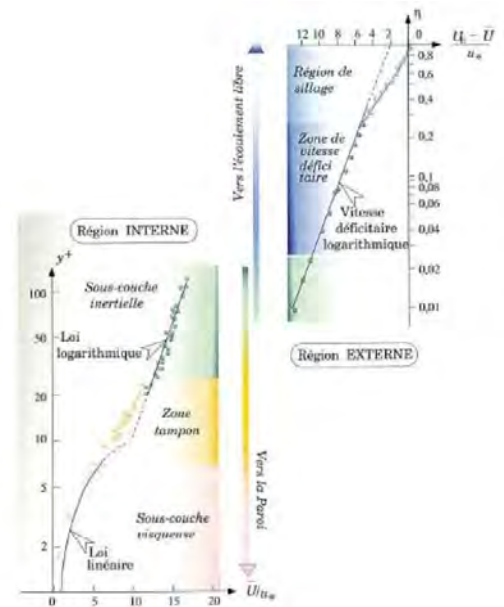


Figure 24 - Représentation de la couche limite - [15]

Formule du y^+ :
$$y^+ = \frac{u_* \cdot y}{\nu} [-] \quad [2.7]$$

2.5 LES LOGICIELS UTILISÉS

- **Autodesk Inventor**
Logiciel de modélisation 3D. Ce programme a été employé afin de modéliser en 3D les deux vannes ainsi que la conduite fictive qui a été utilisée pour les simulations.
- **ANSYS**
La suite de logiciels ANSYS a été utilisée pour la réalisation des simulations numériques.
 - ICEM CFD Maillage des structures
 - CFX-Pre Paramétrage des conditions limites et initiales
 - CFX-Solver Logiciel de calcul qui a réalisé les simulations
 - CFX-Post Logiciel qui a permis d'analyser les résultats

¹² [14] Etude et analyse des couches limites pour les écoulements turbulents ; Laure Billon ; CEMEF, Mines-ParisTech ; 2014

3. Géométries

3.1 ANCIENNE VANNE

Contrairement à la nouvelle vanne, seuls les plans 2D de l'époque de construction de l'ancienne vanne nous ont été transmis. La réalisation du modèle 3D a été réalisée durant le projet de semestre avec l'aide de M. Pascal Grand, professeur de mécanique à la HES-SO de Sion.

3.1.1 Géométrie réelle



Figure 25 - Géométrie réelle de l'ancienne vanne



Figure 26 - Photo de l'ancienne vanne démontée

Cette géométrie a été utilisée durant le projet de semestre. Pour le projet de Bachelor nous avons employé la géométrie simplifiée où nous avons enlevé les congés et les chanfreins afin de diminuer le nombre de surfaces.

3.1.2 Géométrie simple

Cette simplification nous a permis de réaliser un maillage structuré autour de cette vanne, ce qui aurait été trop compliqué avec la géométrie réelle.

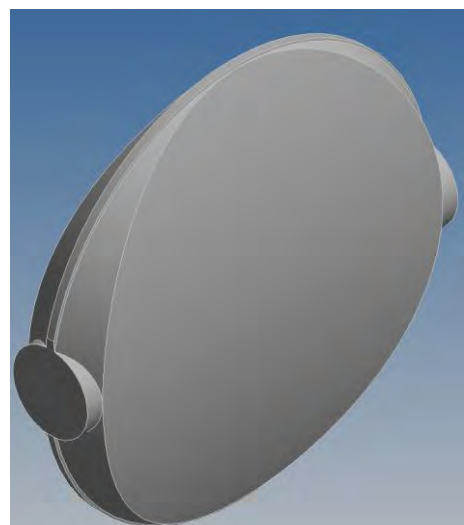


Figure 27 - Géométrie simple de l'ancienne vanne

3.2 NOUVELLE VANNE

Pour la nouvelle vanne qui a été installée, tous les modèles 3D nous ont été fournis par Stahleinbau.

3.2.1 Géométrie réelle

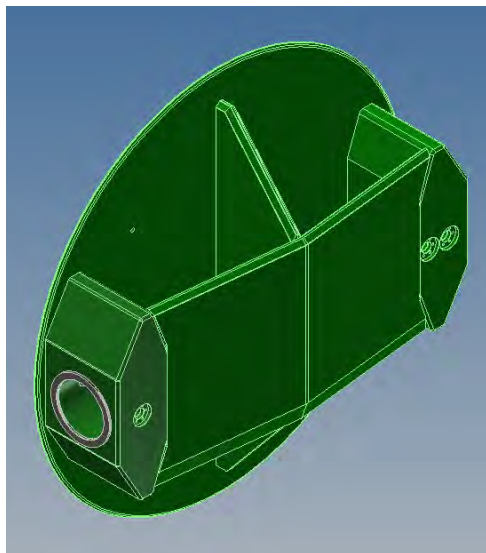


Figure 28 - Géométrie réelle de la nouvelle vanne - vue amont

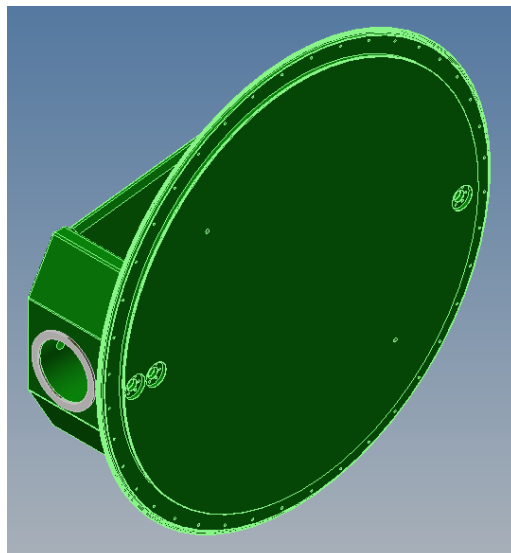


Figure 29 - Géométrie réelle de la nouvelle vanne - vue aval

Dans la géométrie réelle qui nous a été procurée, tous les systèmes de fixation étaient modélisés. Afin de rendre la géométrie utilisable, Stahleinbau nous a également transmis la même géométrie mais avec les surfaces simplifiées.

3.2.2 Géométrie simple

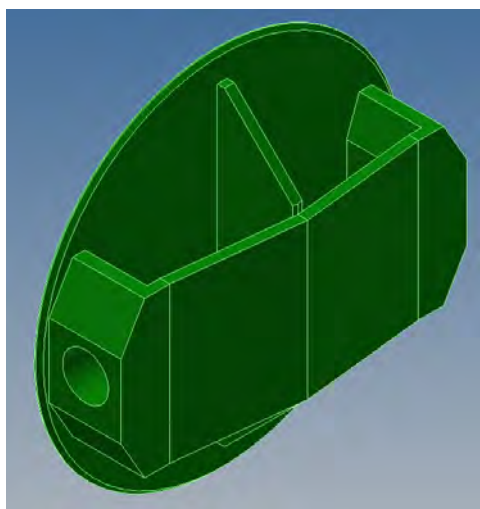


Figure 30 - Géométrie simple de la nouvelle vanne - vue amont

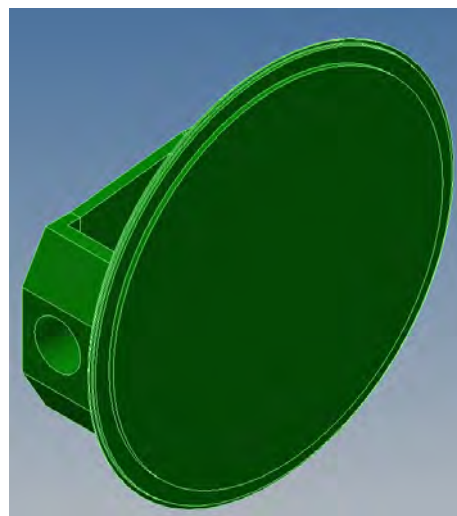


Figure 31 - Géométrie simple de la nouvelle vanne - vue aval

4 Setup numérique

Les chapitres précédents ont permis de présenter le contexte du projet ainsi qu'un bref aperçu des connaissances nécessaires afin d'appréhender la simulation numérique. Dans les chapitres suivants nous allons désormais présenter avec plus de détails les outils numériques qui ont été utilisés.

4.1 DOMAINE DE CALCUL

Afin de « laisser le temps » au fluide de se stabiliser en entrée, la conduite fictive que nous avons modélisée en amont de la vanne mesure 5 fois le diamètre de la lentille. Du côté aval de la vanne, nous avons laissé une distance de 10 fois le diamètre, de manière à ce que la simulation prenne en compte le plus de perturbations possibles.

Nous avons gardé la structure intérieure de la chambre de la vanne pour pouvoir simuler au mieux le comportement de l'écoulement autour de la lentille.

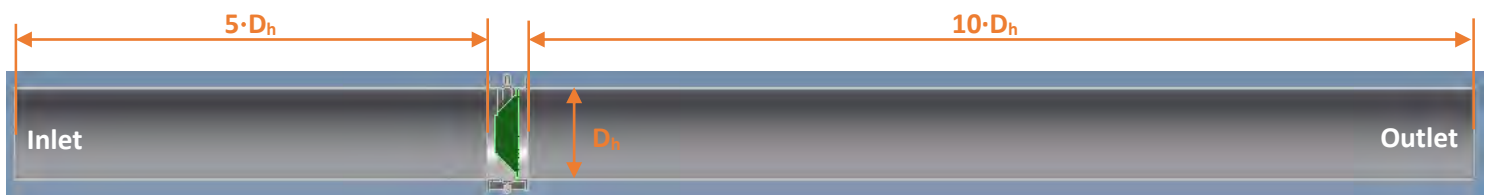


Figure 32 - Géométrie du domaine de calcul

Le logiciel va simuler le comportement du fluide dans le domaine qui lui sera défini en prenant en compte les conditions limites qui lui seront imposées pour chaque partie du domaine.

Diamètre de la conduite	1.9 m
Longueur de la conduite	30.85 m

4.2 MAILLAGE DE BASE

Un premier maillage non structuré a été réalisé pour se faire une première idée du nombre minimal de mailles qu'il serait nécessaire d'utiliser afin de simuler le domaine de calcul, et également pour contrôler qu'il n'y ait pas d'erreur dans nos géométries.

Ce premier maillage « test » a été réalisé durant le projet de semestre. La géométrie de la conduite qui avait été utilisée avait été simplifiée en négligeant la chambre de la vanne.

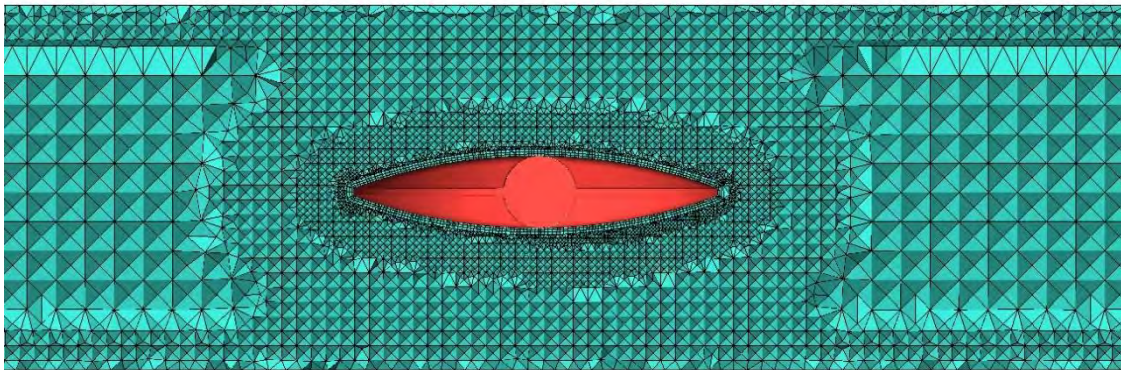


Figure 33 - Coupe au centre du premier maillage "grossier"

Ce premier maillage est très « grossier », c'est-à-dire que les mailles ne sont probablement pas assez fines afin de simuler correctement le comportement de l'écoulement. Il a servi de base de comparaison pour tester l'influence du maillage sur le résultat.

	Maximum size [mm]	Height [mm]	Height ratio	Num layers	Tetra size ratio
Fluide	250				
Inlet	250	100	1.5		
Outlet	250	100	1.5		
Conduite	120	20	1.2		
Vanne	20	10	1.2	3	1.2

Tableau 2 - Paramètres des mailles du maillage grossier

Nombre total d'éléments	2 313 234
Nombre total de nœuds	443 081

Tableau 3 - Nombre de nœuds / d'éléments du maillage grossier

Les deux premières colonnes définissent la largeur et la hauteur maximale des mailles sur les objets correspondants. La troisième colonne indique le taux d'agrandissement / de rétrécissement des mailles entre les objets. Les colonnes quatre et cinq sont les paramètres des couches de prismes.

4.3 MAILLAGE FINAL

Le maillage qui a présenté le meilleur compromis entre la qualité et le temps de simulation a été sélectionné pour effectuer les comparaisons des vannes.

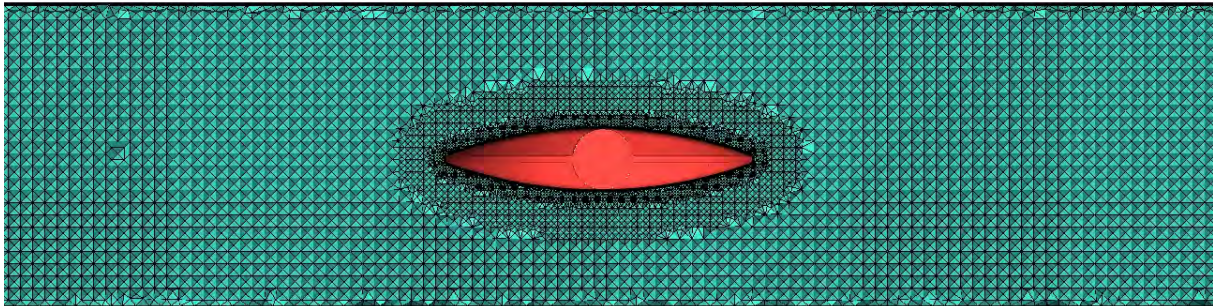


Figure 35 - Coupe au centre du maillage final

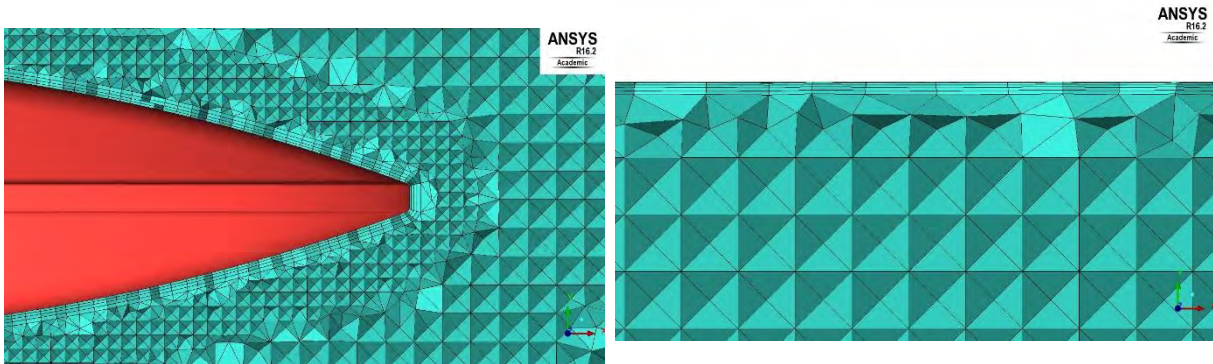


Figure 34 - Maillage final - Zoom sur les mailles contre la vanne et la paroi

	Maximum size [mm]	Height [mm]	Height ratio	Num layers	Tetra size ratio
Fluide	150				
Inlet	150	100	1.5		
Outlet	150	100	1.5		
Conduite	100	3	1.2	4	1.2
Vanne	20	3	1.2	4	1.2

Tableau 4 - Paramètres des mailles du maillage final

Nombre total d'éléments	4 424 696
Nombre total de nœuds	922 894

Tableau 5 - Nombre de nœuds / d'éléments du maillage final

La taille des mailles a été réduite principalement sur la vanne, et quatre couches de prismes ont été ajoutées à la paroi de la conduite. La raison de la sélection de ce maillage est expliquée dans le chapitre 5.2 « Influence du maillage ».

4.4 MAILLAGE STRUCTURÉ

En plus des valeurs empiriques, il est intéressant de comparer les résultats d'un maillage non structuré avec ceux d'un maillage structuré qui sont plus précis.

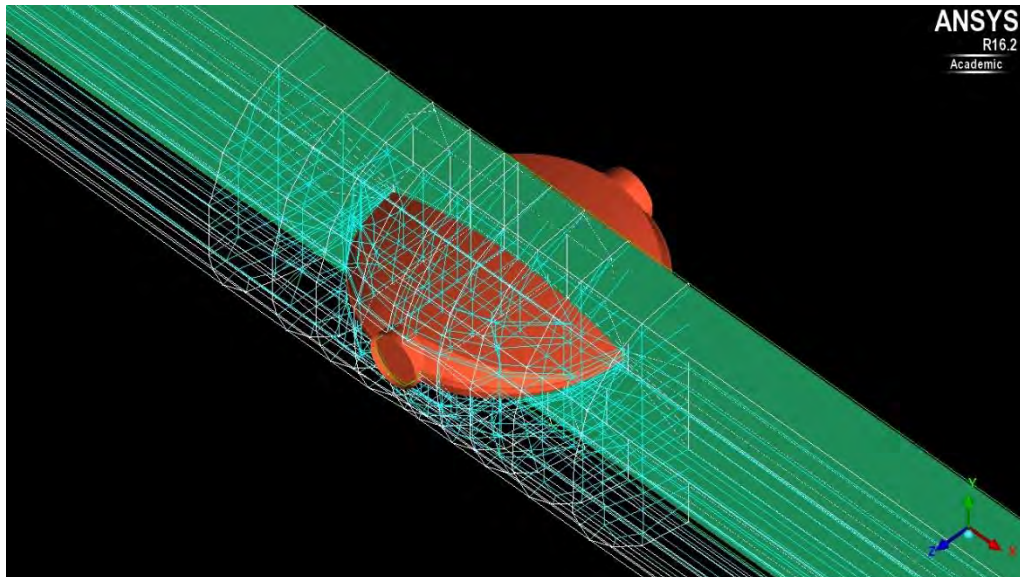


Figure 36 - Blocking du maillage structuré

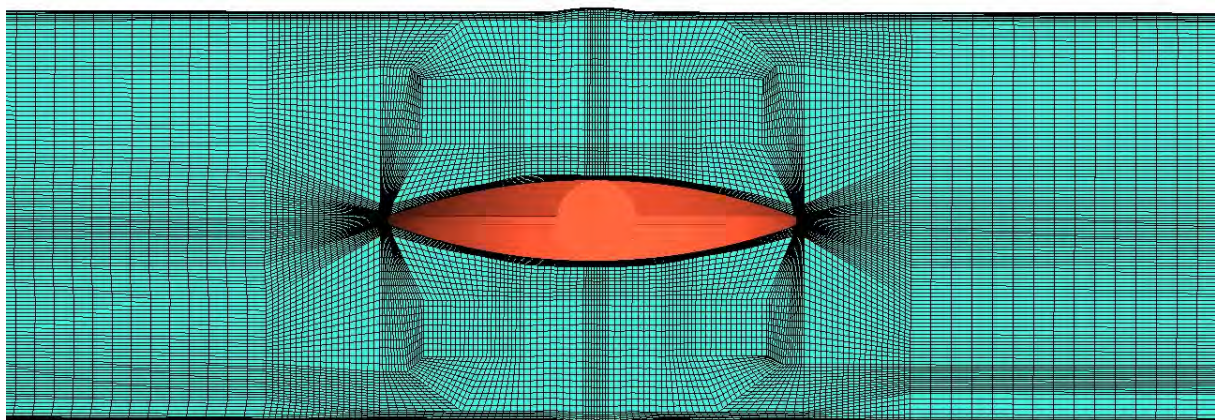


Figure 37 - Coupe au centre du maillage structuré

La géométrie de la vanne étant symétrique dans sa largeur il a été possible de ne mailler que la moitié du volume, ce qui a été un gain de temps considérable.

Nombre total d'éléments	2 956 004
Nombre total de nœuds	2 880 996

Tableau 6 - Nombre de nœuds / d'éléments du maillage structuré

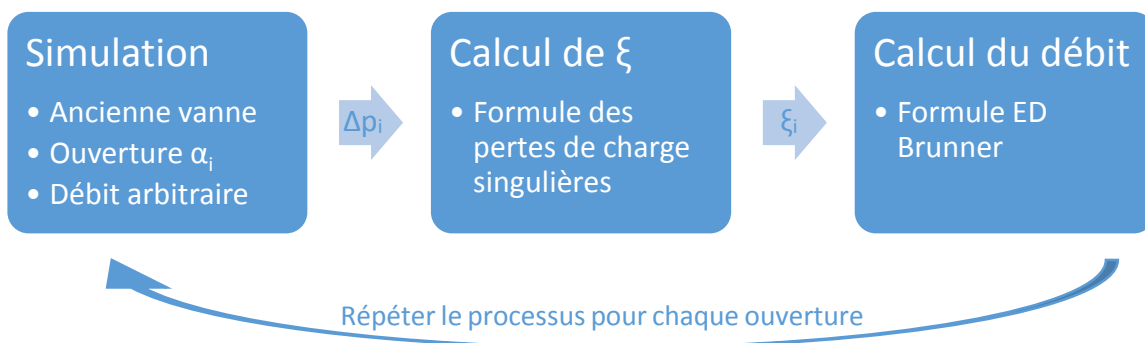
4.5 CONDITIONS AUX LIMITES

Une fois que le maillage est importé dans le logiciel CFX-Pre, il faut encore paramétrer les limites du domaine :

- **Inlet**
En entrée de conduite, nous avons inséré un profil de vitesse qui a été simulé au préalable. Le débit étant différent pour chaque ouverture simulée, un profil de vitesse adapté est introduit en entrée.
- **Outlet**
Les résultats qui nous intéressent n'étant pas affectés par la condition de sortie, une pression statique de 0 Pa a été paramétrée en sortie.
- **Vanne & conduite**
Ces deux éléments du domaine ont été paramétrés en tant que « Wall – no slip wall ». L'élément représente donc un mur qui se comporte comme un mur réel, c'est-à-dire que la vitesse de l'écoulement à sa surface est égale à zéro.

4.5.1 Calculs des débits pour l'ancienne vanne

Les débits en fonction de l'ouverture de la vanne nous ont été transmis par Stahleinbau, mais seulement pour la nouvelle vanne. Nous avons donc effectué des simulations nous permettant de connaître le coefficient de pertes de charge singulières de l'ancienne vanne. Une fois cette valeur obtenue, nous avons pu calculer le débit en fonction de ce coefficient pour chaque ouverture.



Formule ED Brunner :

$$Q = \sqrt{\frac{E \cdot \pi^2 \cdot g}{8 \cdot \left(\frac{1 + \xi_R + \xi_B}{D_B^4} + \frac{\xi_A + \lambda_{CF} \frac{L_{CF}}{D_{CF}^5}}{D_{CF}^4} \right)}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad [4.1]$$

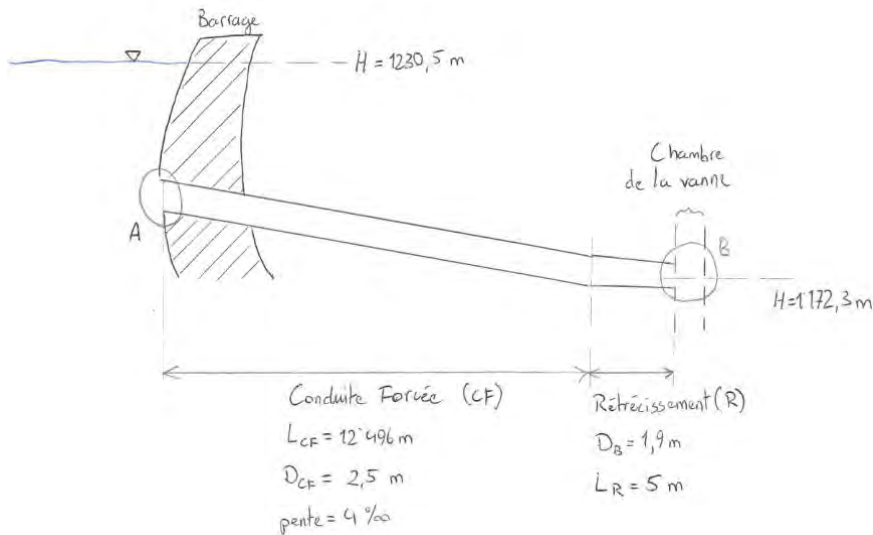


Figure 38 - Schéma en coupe simplifié de l'aménagement hydroélectrique

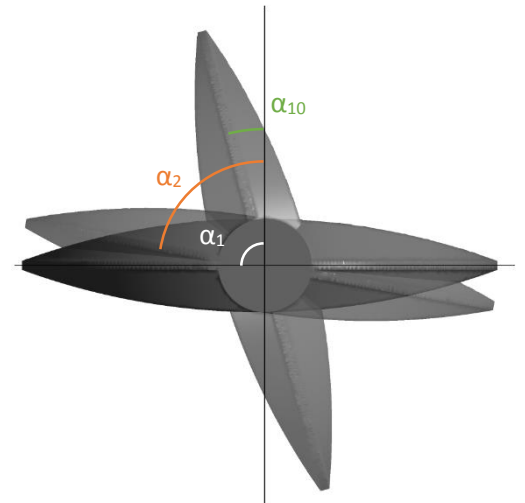


Figure 39 - Représentation de l'ancienne vanne ouverte à : 90°, 80° & 15°

4.6 CONDITIONS GÉNÉRALES

Avant de pouvoir effectuer les calculs, il faut encore paramétrer les conditions globales de la simulation :

- **Fluide**
Tout d'abord, même si cela semble évident, il est nécessaire de préciser au logiciel quel type de fluide il devra simuler. Dans notre cas, le fluide simulé est de l'eau.
- **Modèle de turbulence**
Comme mentionné précédemment, il existe différents modèles pour calculer l'évolution d'un écoulement de fluide. Plusieurs modèles ont été comparés, mais c'est le modèle **SST** (Shear Stress Transport) qui a été utilisé dans nos simulations finales, car il permet de calculer avec précision l'effet de l'écoulement à proximité et à distance des parois.
- **Critères de convergence**
Pour terminer, il faut spécifier au logiciel à quel moment la simulation doit s'arrêter. Plusieurs paramètres peuvent être choisis. Dans nos simulations, nous avons spécifié deux paramètres :
 - Si les résidus des calculs ont atteint une valeur suffisamment faible pour être considérée acceptable, la simulation s'arrête.
 - En revanche, si le calcul n'atteint jamais la valeur de résidus spécifiés, il effectuera le nombre d'itérations spécifiées.

4.7 OUTILS DE POST-TRAITEMENT

Voici les grandeurs qui ont été analysées afin d'approuver la qualité des simulations et de comparer le comportement des deux vannes :

- y^+ aux parois
- Δp dans la conduite
- Δp de la vanne
- Profils de vitesse avant la vanne
- Couple exercé sur la vanne
- Forces de portance et de traînée exercées sur la vanne
- Champ de pression dans la conduite
- Lignes de courant dans la conduite

Dans le but d'analyser les champs de pression ainsi que les lignes de courant, nous les avons représentés à l'aide de deux grandeurs sans dimension :

- Le coefficient de pression
$$C_p = \frac{p - p_{ref}}{0.5 \cdot \rho \cdot c_{ref}^2} \quad [4.2]$$

- Le coefficient de vitesse
$$C_v = \frac{c_u}{c_{ref}} \quad [4.3]$$

Avec :

- p_{ref} pression statique moyenne en sortie = 0 Pa

- c_{ref} vitesse débitante
$$c_{ref} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad [4.4]$$

- Q Débit en entrée de la conduite
- D Diamètre de la conduite = 1,9 m

5 Critères de qualité

Avant de pouvoir effectuer des simulations pour comparer les deux vannes, il est nécessaire de contrôler qu'aucun paramètre n'influence les résultats.

5.1 CONVERGENCE DES RÉSIDUS

Lorsque le logiciel tente de résoudre les équations dans le domaine de calcul, il va effectuer les opérations dans chaque maille. Il va répéter ces opérations jusqu'à ce qu'une spécification de l'utilisateur lui ordonne d'arrêter.

Dans les simulations tests, nous avons laissé le logiciel effectuer 2'000 itérations si la racine carrée de la moyenne des carrés (RMS) des résidus n'a pas atteint la valeur de $1e^{-9}$.

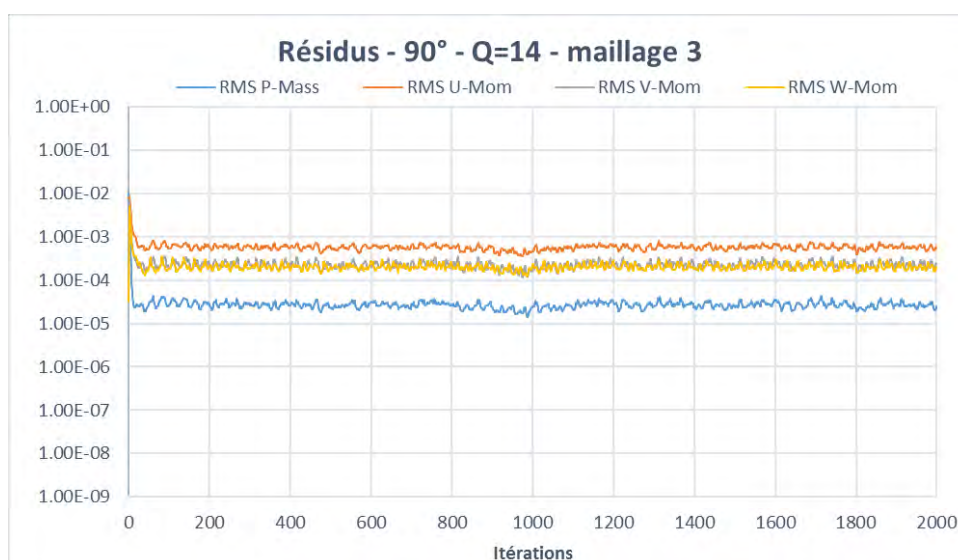


Figure 40 - RMS des résidus de la simulation du 3ème maillage

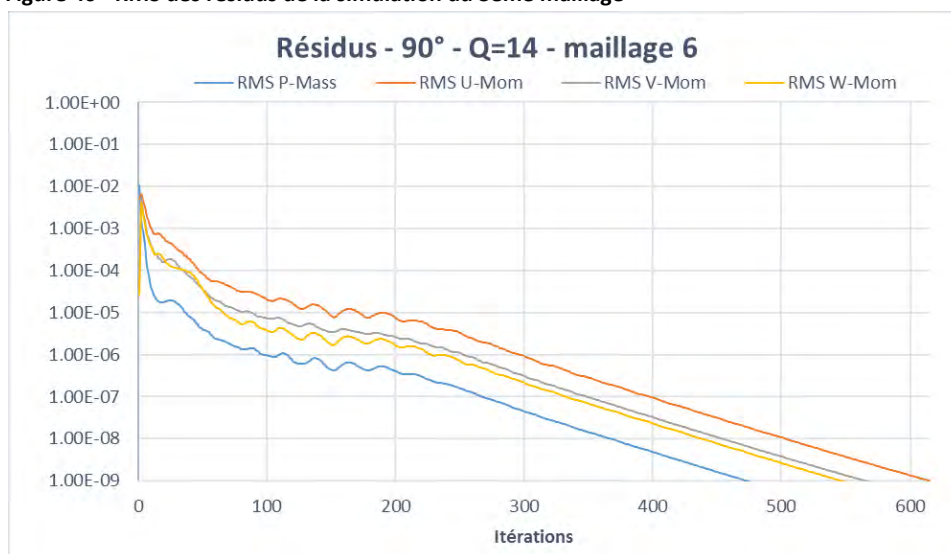


Figure 41 - RMS des résidus de la simulation du maillage final

Si, comme dans la *figure 39* les résidus n’ont pas atteint la valeur minimale demandée, mais se sont « stabilisés », cela signifie que l’écoulement possède des comportements instationnaires non négligeables. Cependant, les RMS des résidus se sont stabilisés à une valeur suffisamment basse pour être considérés comme utilisables.

Maillage	1	2	3	4	5	6	7	8
RMS convergés vers 1e-9	OUI	OUI	NON	OUI	NON	OUI	NON	NON

Tableau 7 - Convergence des maillages testés

Les maillages ont été testés avec l’ancienne vanne complètement ouverte dans la conduite (ouverture à 90°).

5.2 INFLUENCE DU MAILLAGE

Durant le projet de semestre, trois premiers maillages non structurés ont été comparés. Les résultats de ces trois maillages n’étaient pas similaires et ne permettaient donc pas de confirmer que le maillage n’influençait pas les résultats. Cinq maillages non structurés supplémentaires ont été réalisés pour ce projet de diplôme ainsi qu’un maillage structuré.

Maillage	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre total d’éléments	2 313 234	2 007 421	3 692 272	4 168 481	7 040 731	4 424 696	10 695 704	4 303 188
Nombre total de nœuds	443 081	436 441	802 995	879 629	1 499 349	922 894	2 311 667	816 980

Tableau 8 - Nombre de nœuds / d’éléments des maillages testés

Le nombre d’éléments dans le domaine modifie le temps de simulation. Un des critères de sélection d’un maillage va être le gain de précision obtenu dans les résultats par rapport au nombre d’éléments ajoutés. On verra que le maillage n°7 avec plus de 10’000’000 d’éléments n’a pas un résultat plus satisfaisant qu’un autre.

5.2.1 y^+ aux parois

Comme évoqué précédemment, les valeurs y^+ nous indiquent dans quelle zone de la couche limite la première maille d’une paroi est située. Idéalement, ces valeurs devraient se limiter entre 10 et 1’000.

Maillage			1	2	3	4	5	6	7	8
y^+	Vanne	min	55	5	15	42	6	12	24	22
		max	3 380	2 662	768	2 156	828	1 192	803	1 166
		moyen	2 058	674	466	1 292	476	690	466	679
	Conduite	min	20	6	15	42	6	12	36	30
		max	7 105	5 652	736	2 104	767	1 134	748	1 101
		moyen	2 778	3 402	341	1 050	343	519	343	506

Tableau 9 - y^+ sur la vanne et sur la conduite des maillages testés

Les maillages 1, 2 & 4 ont des valeurs y^+ trop élevées, et le maillage 5 possède des mailles qui sont trop proches des parois. Les maillages 3,6,7 & 8 semblent les plus proches de ce que l’on désire.

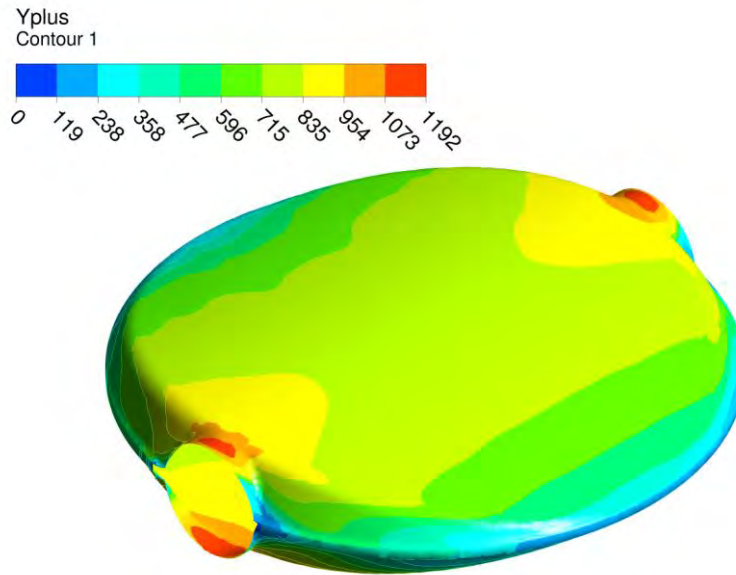


Figure 42 - y^+ sur la vanne - maillage 6

Grâce à la *figure 41*, on peut voir que les valeurs les plus mauvaises de y^+ ne se situent pas où la force de l'écoulement vient principalement créer le couple sur la lentille mais sont regroupées aux extrémités de l'axe de rotation. La couche limite semble donc correcte sur la plus grande partie de la vanne.

5.2.2 Couple sur la vanne



Figure 43 - Couple simulé des maillages testés (ouverture 90°)

A première vue, la valeur simulée du couple semble ne pas obtenir de réponse sûre. Le couple théorique sur la vanne pour l'ouverture de 90° est 0 Nm.

Mais si l'on suit l'évolution du couple durant une simulation, on observe que la valeur oscille passablement beaucoup. Cette variation semble gigantesque mais si l'on compare cette oscillation au couple maximum exercé durant la fermeture de la vanne, on se rend compte que cette variation est négligeable.

Couple normalisé :
$$M_{nor} = \frac{M_{simulé}}{M_{max}} \text{ avec } M_{max} = 100'793 \text{ Nm} \quad [5.1]$$

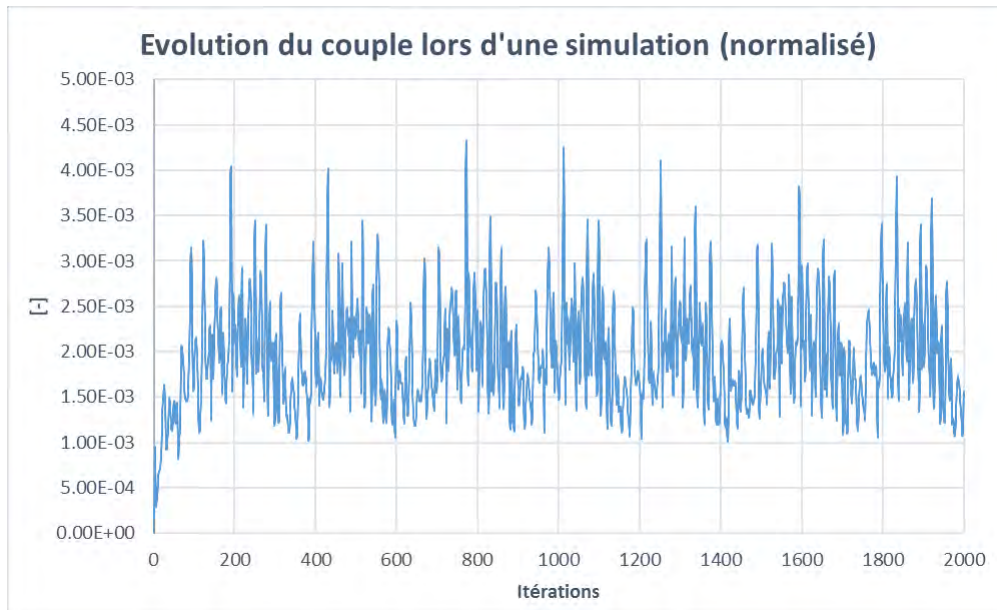


Figure 44 - Variation du couple lors d'une simulation par rapport au couple maximum exercé sur la vanne

5.2.3 Pertes de charge

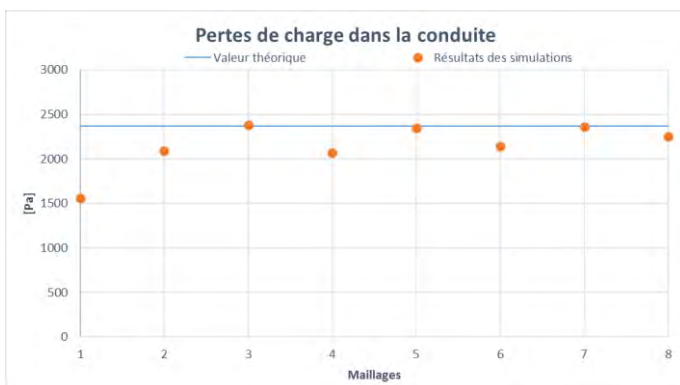


Figure 45 - Pertes de charge linéaires simulées des maillages testés

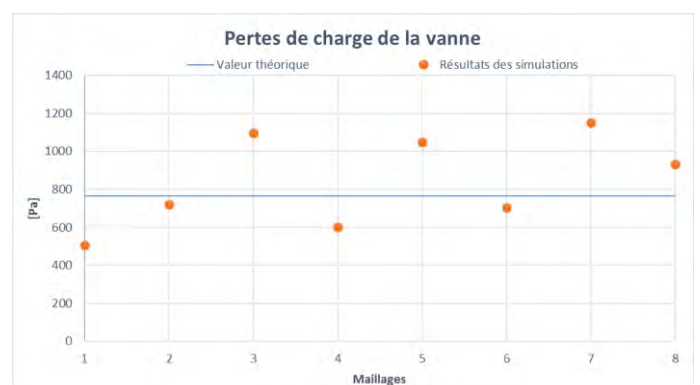


Figure 46 - Pertes de charge singulières simulées des maillages testés

Le maillage 6 a simulé les pertes de charge qui sont les plus proches de la théorie.

5.2.4 Maillage structuré

Un dernier maillage a été testé en milieu de projet : le maillage structuré. Les résultats de la simulation avec ce maillage ne sont pas comparables à ceux des huit maillages déjà présentés, car le setup utilisé est celui des simulations finales et non pas le setup test.

			Ouverture 90° - Profil de vitesse pour Q = 22.4 m ³ /s	
			Maillage non structuré	Maillage structuré
y+	Vanne	min	87	11
		max	1 857	12 656
		moyen	1 041	1 192
Couple sur la vanne [Nm]			222	14
Delta p simulé [Pa]			5 903	5 857

Tableau 10 - Résultats de la simulation du maillage structuré

Le maillage proche de la vanne a été mal raffiné, ce qui explique les valeurs de y⁺ si élevées. Les pertes de charge sont similaires, mais le couple simulé est très différent. Néanmoins, la mesure du couple pour l'ouverture à 90° est assez sensible. Il serait intéressant de réaliser un maillage structuré pour une ouverture différente, afin de comparer les résultats avec une valeur théorique.

5.3 INFLUENCE DU MODÈLE DE TURBULENCE

Différents modèles de turbulences ont été utilisés sur la géométrie de la nouvelle vanne ouverte à 30°. Nous avons décidé d'effectuer la comparaison pour cette ouverture, car (comme nous le verrons dans le chapitre 6 « Résultats ») c'est dans cette position qu'il y a le plus grand écart entre le couple simulé et le couple calculé.

	Modèle SST		Modèle SST Production Limiter & Curvature Correction		Modèle BSL EARSIM		Modèle RNG k-epsilon		Valeurs empiriques
		Erreur		Erreur		Erreur		Erreur	
Couple simulé [Nm]	154 160	64%	152 309	62%	150 334	60%	147 138	56%	94 231
Δp vanne simulé [Pa]	505 466	19%	504 726	19%	502 299	18%	503 574	18%	425 681

Tableau 11 - Comparaison des modèles de turbulence

Les résultats des différents modèles étant très similaires, nous avons décidé d'utiliser le modèle de turbulence SST qui est le plus répandu en simulation numérique. Ce modèle permet de simuler correctement le comportement du fluide loin et proche des parois, ce qui est un avantage dans notre projet où l'on désire obtenir des informations de l'écoulement près de la vanne et des perturbations dans la conduite en aval.

5.4 CONCLUSION

Le choix du maillage n'a pas été évident. C'est le maillage n°6 qui a finalement été sélectionné, car il présente les meilleures caractéristiques avec un nombre d'éléments raisonnables.

Après avoir testé ces différents paramètres, voici le setup final qui a été utilisé pour effectuer les simulations de comparaison des vannes :

Méthode numérique	Volumes finis
Modélisation	RANS
Schéma numérique	1er ordre
Type de simulation	Stationnaire
Modèle de turbulence	SST
Modèle du fluide	Monophasique (eau)
Nombre d'itérations	2000
Critère de convergence	1e -9
Paramètre d'entrée	Profil de vitesse
Paramètre de sortie	Pression statique 0 Pa

Tableau 12 - Paramètres des simulations finales

Ouverture α [°]	Débit [m ³ /s]	
	Ancienne vanne	Nouvelle vanne
90	22.29	22.4
80	22.1	22.32
70	21.89	22.05
60	21.4	21.33
50	20.3	19.7
40	17.5	16.49
30	12.92	11.49
25	9.05	8.8
20	5.42	6.41
15	3.38	4.74

Tableau 13 - Débits en fonction de l'ouverture

6 Résultats

6.1 ANCIENNE VANNE

6.1.1 AV - Champ de pression et lignes de courant

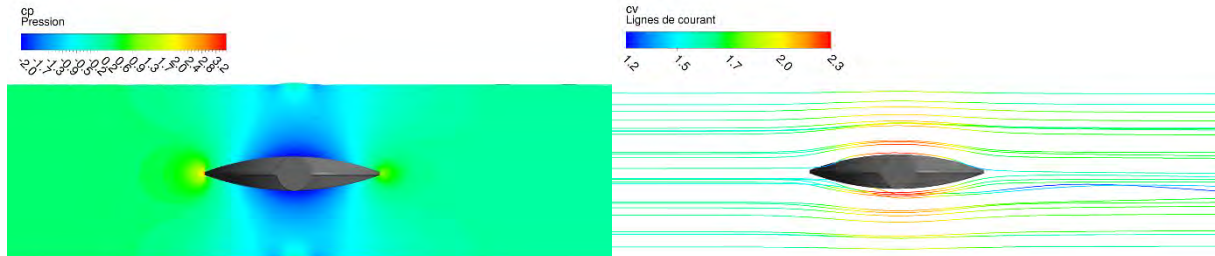


Figure 47 - AV 90° - Champ de pression et lignes de courant

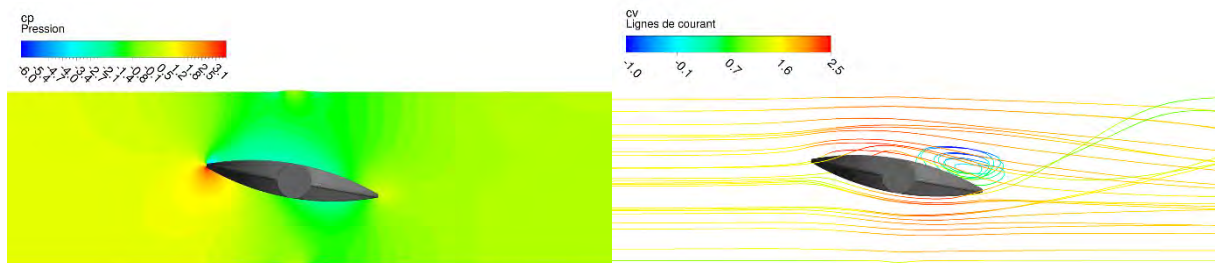


Figure 48 - AV 80° - Champ de pression et lignes de courant

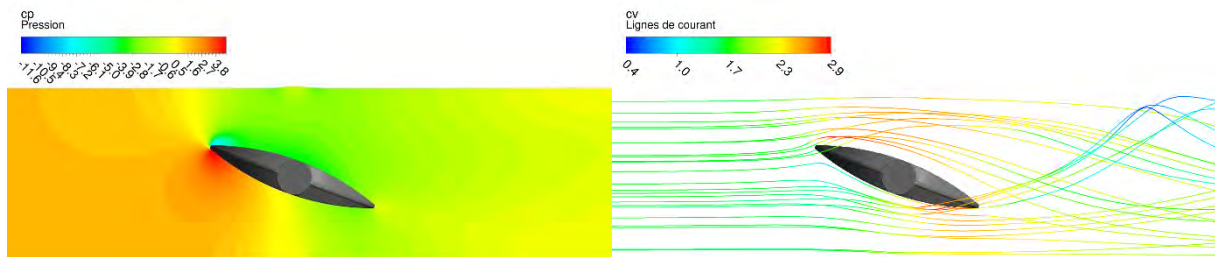


Figure 49 - AV 70° - Champ de pression et lignes de courant

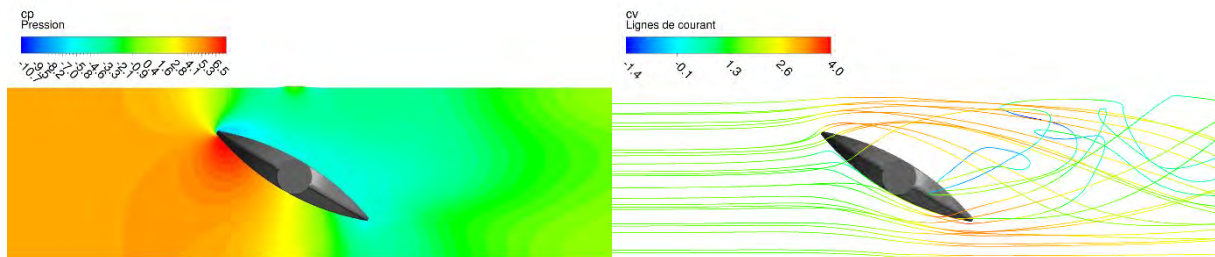


Figure 50 - AV 60° - Champ de pression et lignes de courant

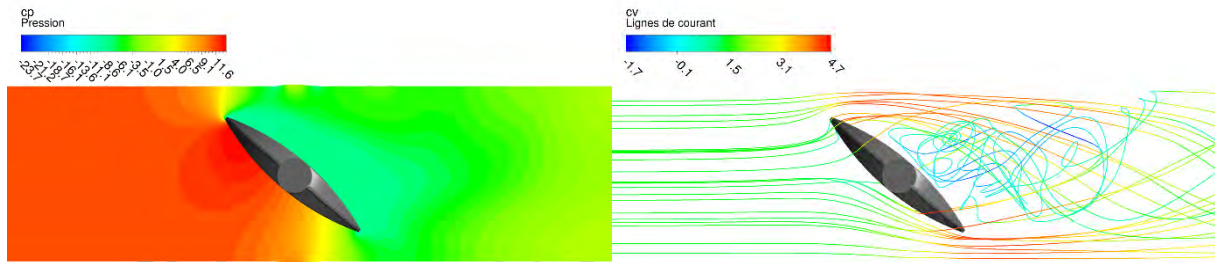


Figure 51 - AV 50° - Champ de pression et lignes de courant

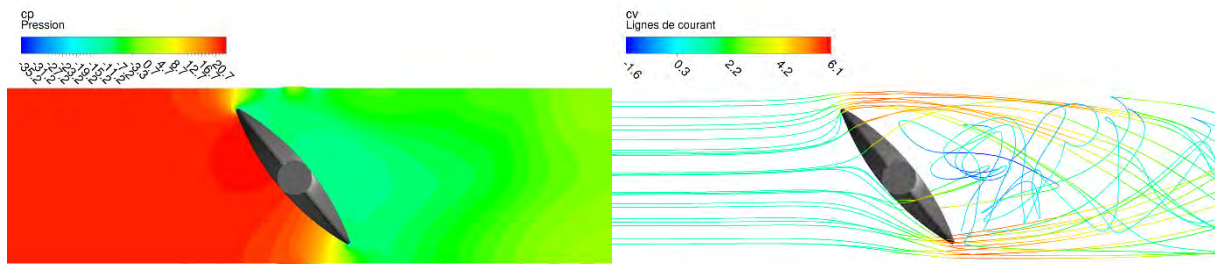


Figure 52 - AV 40° - Champ de pression et lignes de courant

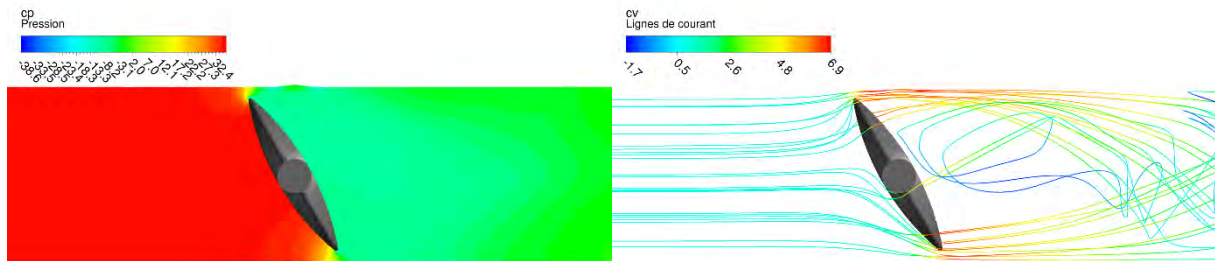


Figure 53 - AV 30° - Champ de pression et lignes de courant

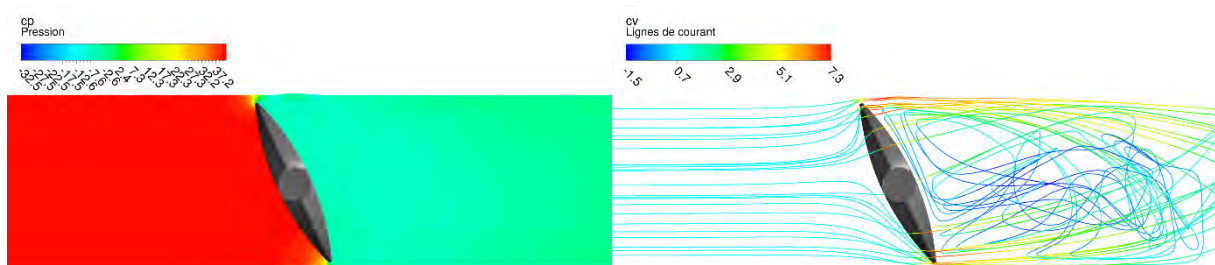


Figure 54 - AV 25° - Champ de pression et lignes de courant

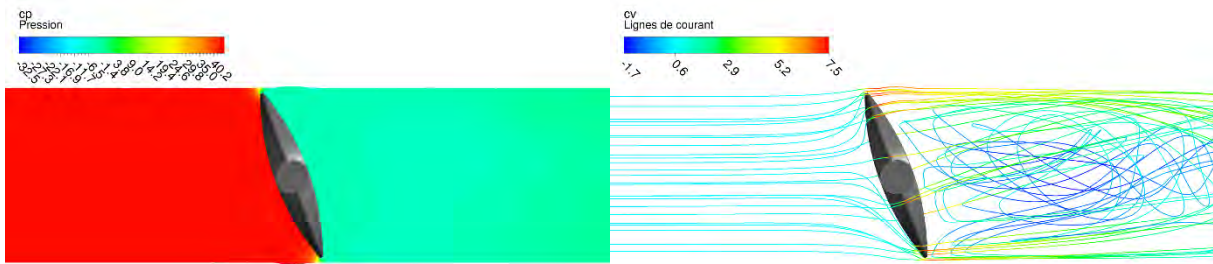


Figure 56 - AV 20° - Champ de pression et lignes de courant

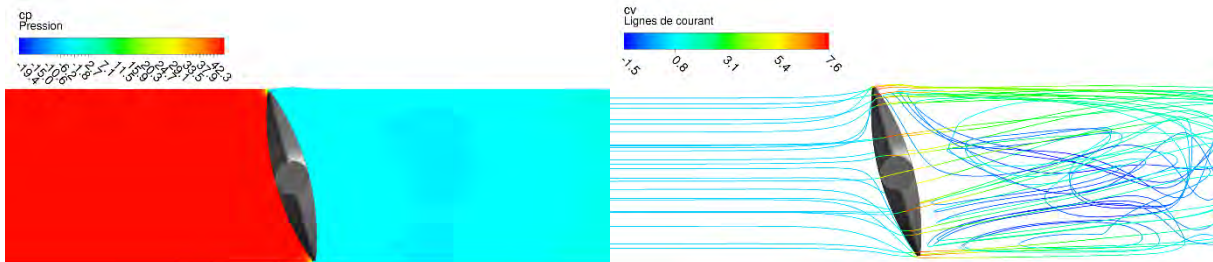


Figure 55 - AV 15° - Champ de pression et lignes de courant

Comme pour la nouvelle vanne, il y a une forte pression sur le devant de la lentille au début de sa fermeture qui s'égalise ensuite sur toute la surface de la lentille environ au milieu de course. Les tourbillons créés en aval de la vanne grandissent avec la fermeture de cette dernière et ne se stabilisent pas avant la fin de la conduite. Dans la position 80°, on peut clairement voir la formation d'une recirculation sur le corps de la lentille.

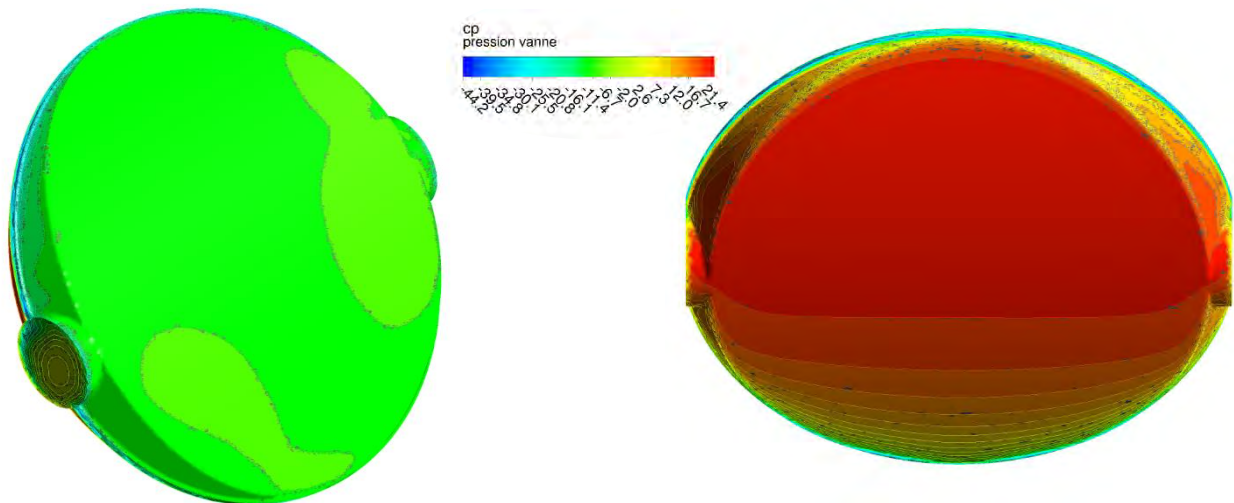


Figure 57 - Champ de pression sur l'ancienne vanne - ouverture 40°

Avec le champ de pression sur la vanne ouverte à 40°, on peut voir que la lentille subit de fortes contraintes de pression sur l'ensemble de sa surface. Le sommet de la vanne du côté de l'arrivée de l'écoulement endure une forte dépression. Une analyse supplémentaire intéressante serait d'effectuer des simulations avec la pression réelle dans la conduite. Cela permettrait d'analyser les risques de cavitation que l'ancienne vanne subissait.

6.1.2 AV - Couple sur la vanne

Contrairement à la nouvelle vanne, aucune valeur empirique ou expérimentale ne nous a été transmise afin de comparer les résultats des simulations. Cependant, nous avons utilisé la méthode ED Brunner afin de calculer un couple théorique en utilisant les coefficients de pertes de charge singulières ξ simulés.

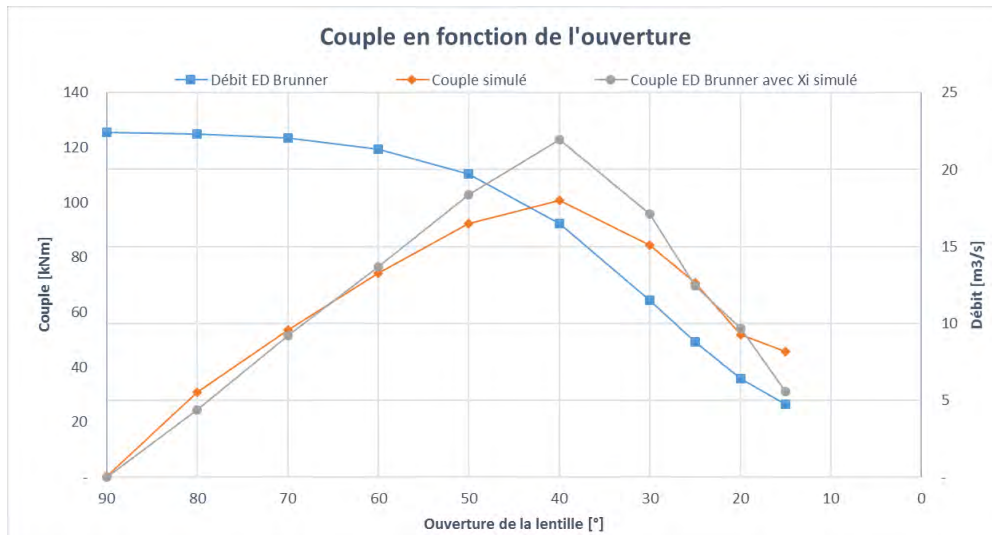


Figure 58 - Couple sur l'ancienne vanne

Le couple simulé semble cohérent avec le couple ED Brunner. Cependant, la méthode empirique ED Brunner surestime le couple maximum de 22%. Le facteur de correction k_M n'étant pas connu pour cette vanne nous avons utilisé le même que pour la nouvelle lentille, ce qui peut être une source d'erreur pour ce calcul.

6.1.3 AV - Pertes de charge

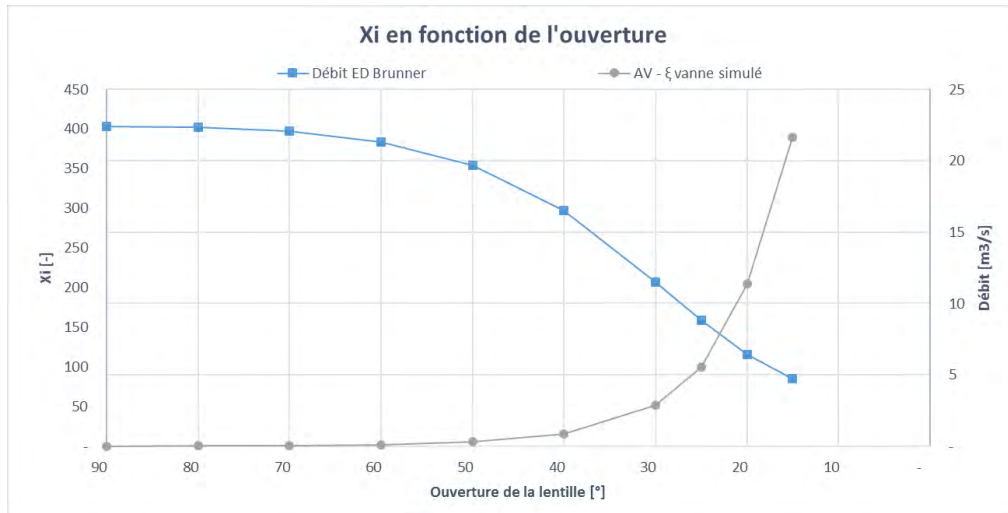


Figure 59 - Coefficients de pertes de charge singulières simulées pour l'ancienne vanne

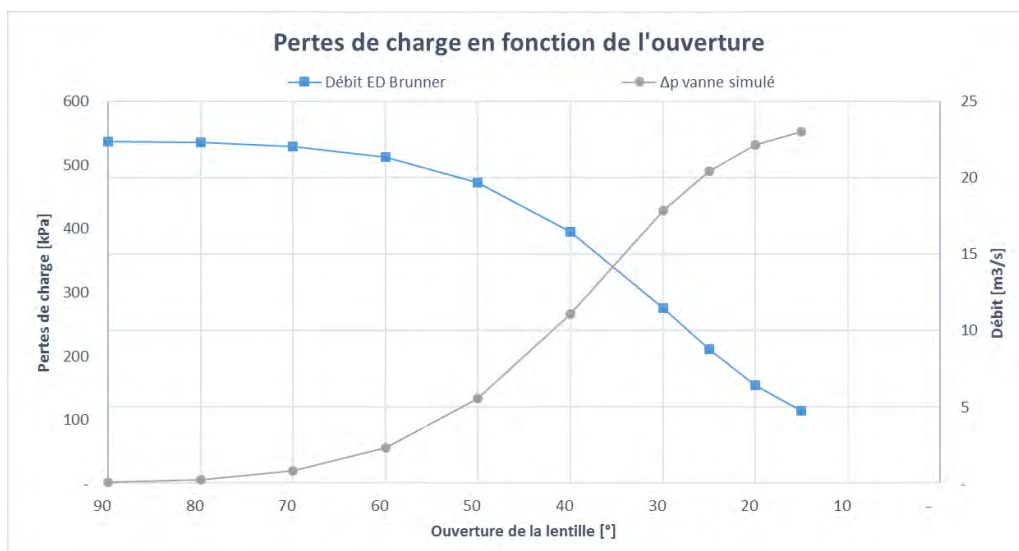


Figure 60 - Pertes de charge simulées pour l'ancienne vanne

Logiquement, les pertes de charge augmentent avec le coefficient ξ . Dans le chapitre 6.3 « Comparaison des vannes », nous verrons que les pertes de charge de la nouvelle vanne sont globalement plus faibles.

6.2 NOUVELLE VANNE

6.2.1 NV - Champ de pression et lignes de courant

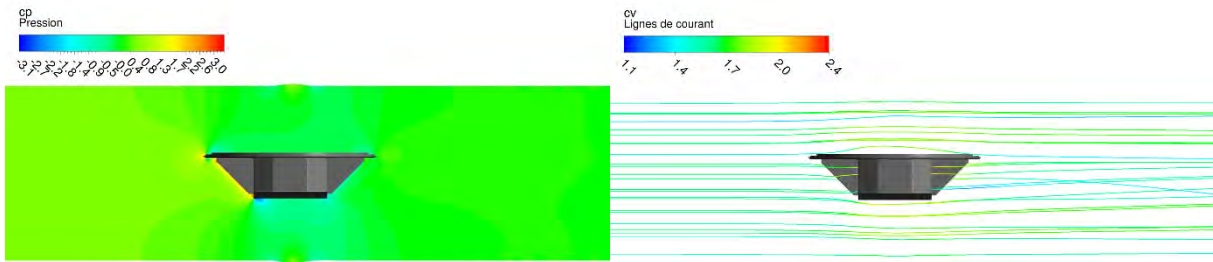


Figure 61 - NV 90° - Champ de pression et lignes de courant

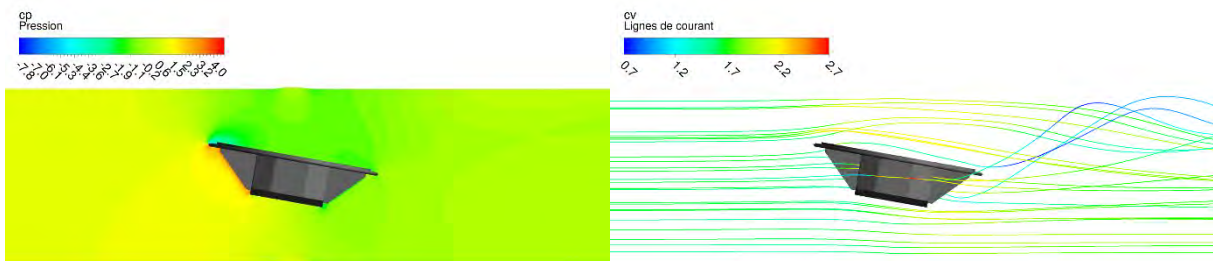


Figure 62 - NV 80° - Champ de pression et lignes de courant

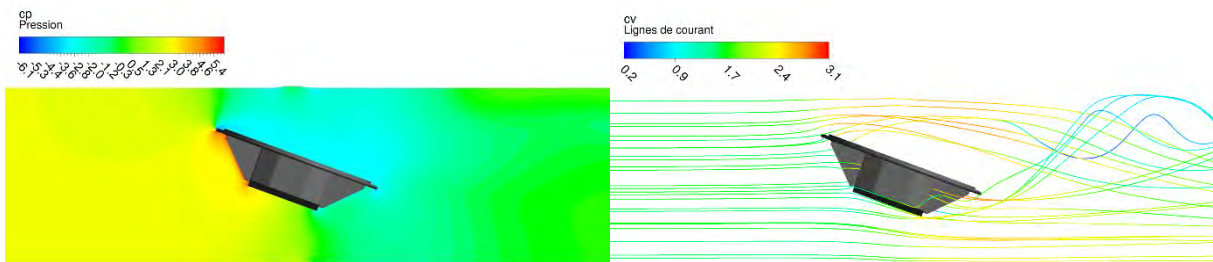


Figure 63 - NV 70° - Champ de pression et lignes de courant

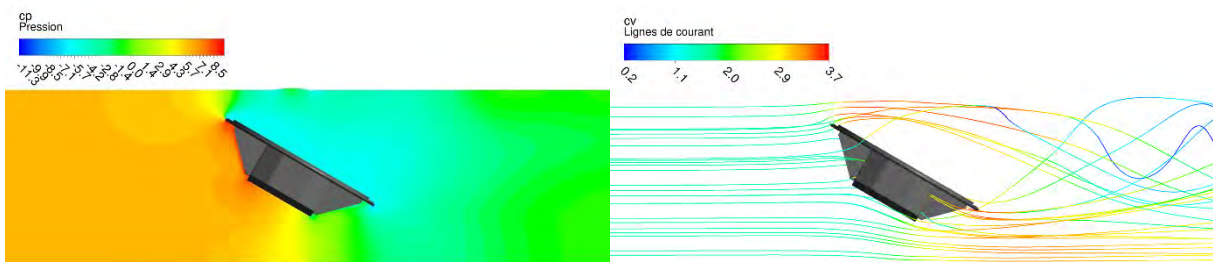


Figure 64 - NV 60° - Champ de pression et lignes de courant

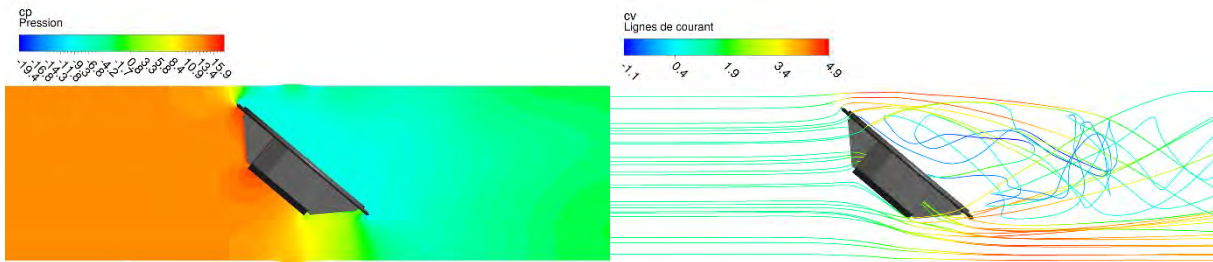


Figure 65 - NV 50° - Champ de pression et lignes de courant

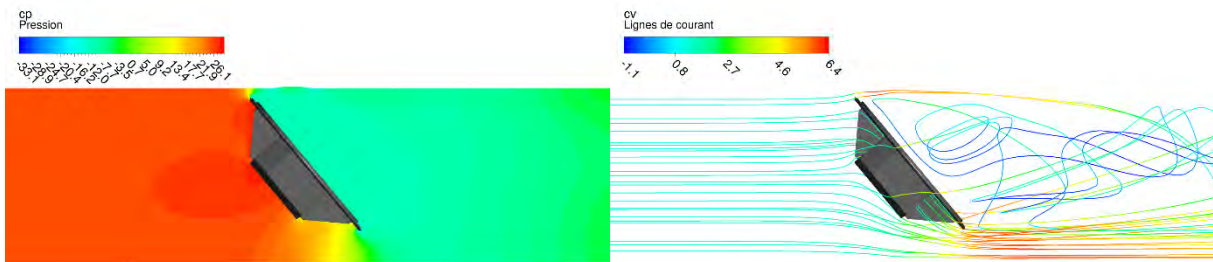


Figure 66 - NV 40° - Champ de pression et lignes de courant

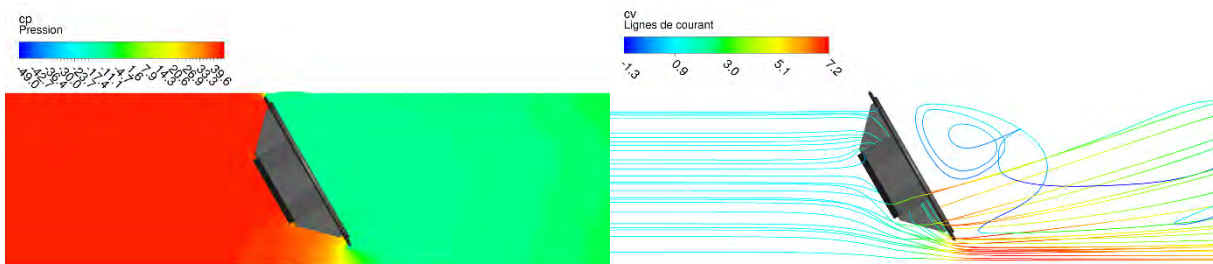


Figure 67 - NV 30° - Champ de pression et lignes de courant

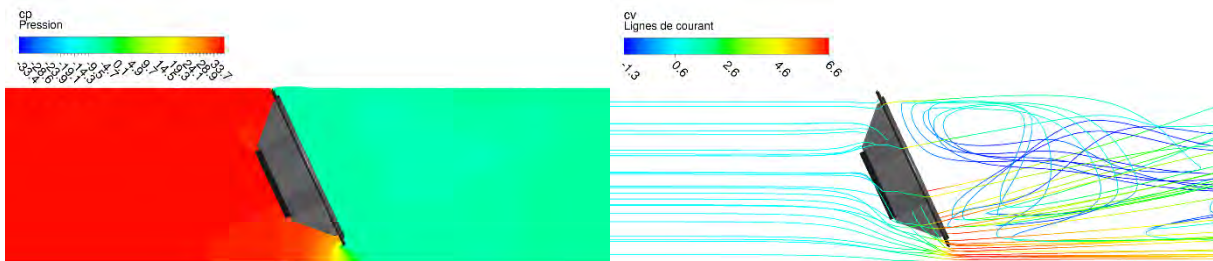


Figure 68 - NV 25° - Champ de pression et lignes de courant

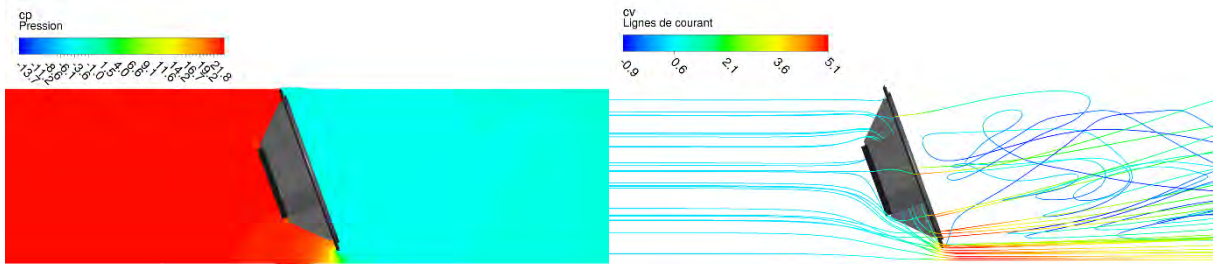


Figure 69 - NV 20° - Champ de pression et lignes de courant

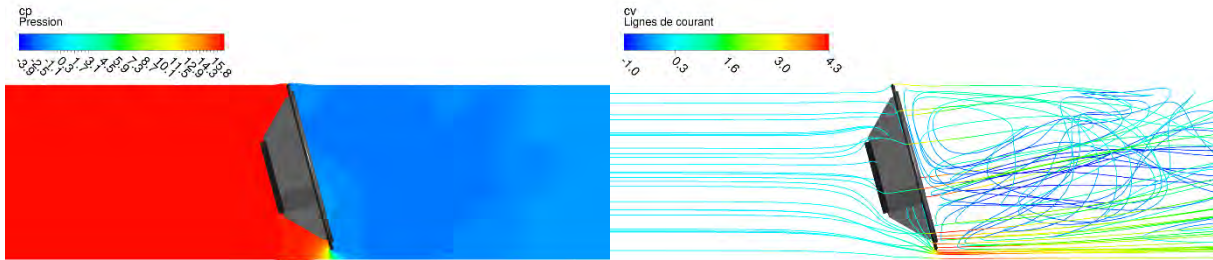


Figure 70 - NV 15° - Champ de pression et lignes de courant

La pression en amont de la vanne est uniforme quand elle est fermée à partir de 40°. En position 30°, le fluide est fortement accéléré au passage de la lentille. Les tourbillons créés en aval de la vanne s’amplifient avec la fermeture et ne se stabilisent pas avant la fin de la conduite. A partir de la position 70°, on peut clairement observer la dépression qui se crée sur le dessus de la vanne, facilitant sa fermeture.

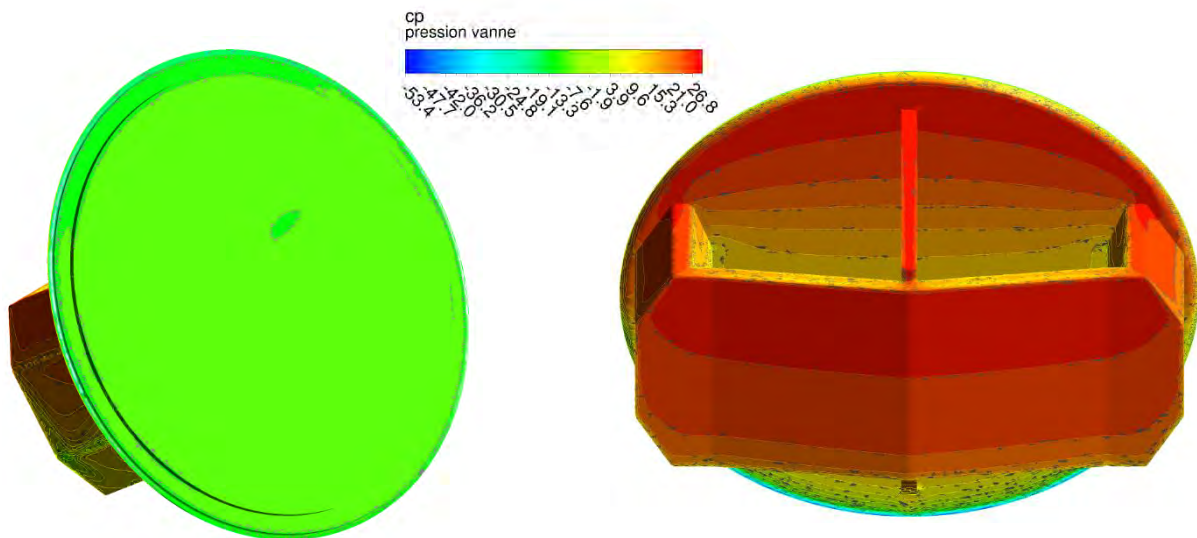


Figure 71 - Champ de pression sur la nouvelle vanne - ouverture 40°

Comme pour l’ancienne vanne, une grande pression est appliquée sur la partie avant de la lentille, mais également sur la structure reliant l’axe de rotation au corps de la lentille. Il ne semble pas y avoir de phénomène de dépression sur la tranche du disque principal.

6.2.2 NV - Couple sur la vanne

Les valeurs théoriques du débit, du couple et des pertes de charge en fonction de l'ouverture nous ont été transmises par Stahleinbau, ce qui nous a permis de comparer nos résultats de simulations avec des valeurs empiriques.

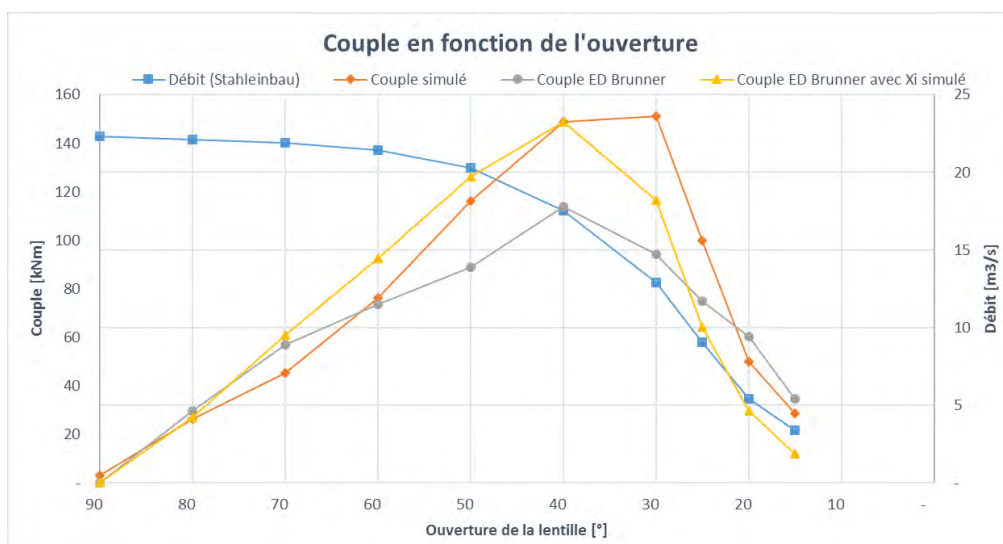


Figure 72 - Couple sur la nouvelle vanne

Tant que la lentille se situe entre 90° et 50°, le débit ne varie que très peu et le couple augmente linéairement. Le couple maximum simulé est supérieur de 33% au couple maximum empirique.

De manière générale le coefficient de pertes de charge singulières utilisé par Stahleinbau dans le calcul du couple ED Brunner semble sous-estimé. En effet, en faisant le calcul du couple ED Brunner avec le coefficient simulé, le résultat semble bien plus cohérent.

Cela peut être très dangereux car si le système de fermeture a été dimensionné pour résister à un couple maximum inférieur à ce qui peut réellement arriver, la vanne risque de ne pas réussir à retenir l'écoulement.

6.2.3 NV - Pertes de charge

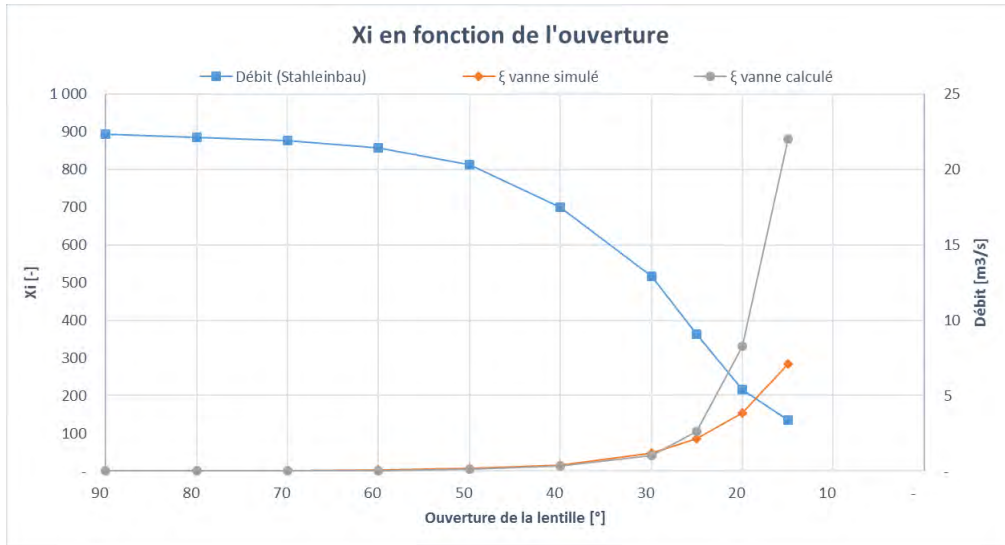


Figure 73 - Coefficients de pertes de charge simulés de la nouvelle vanne

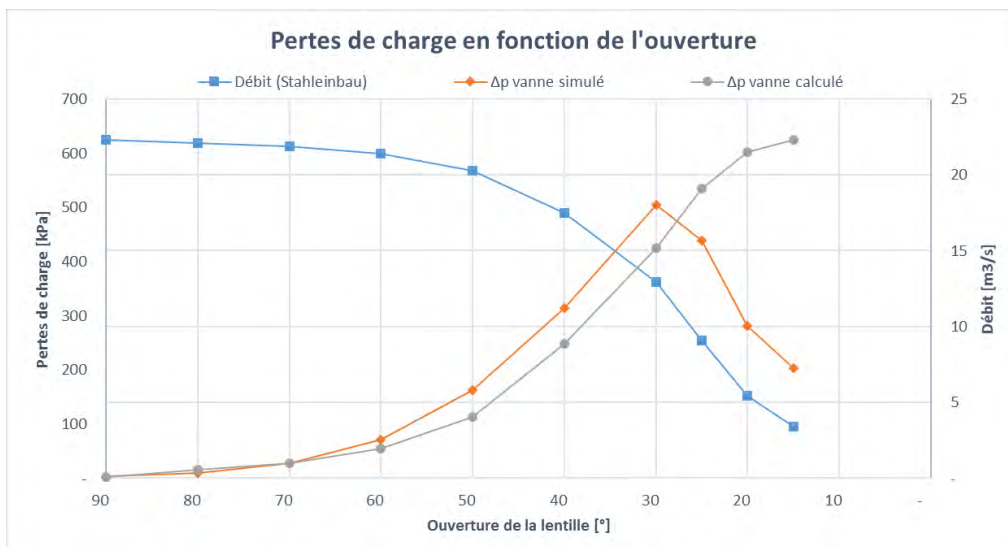


Figure 74 - Pertes de charge simulées de la nouvelle vanne

Jusqu'à l'ouverture 30°, les ξ théoriques sont sous-estimés par rapport à la simulation. Mais lorsque la vanne est proche de la fermeture complète, la tendance s'inverse et les pertes de charge simulées chutent. Cette modification survient lorsque l'écoulement est quasiment entièrement bloqué sur la partie supérieure de la lentille (figure 66).

6.3 COMPARAISON DES VANNES

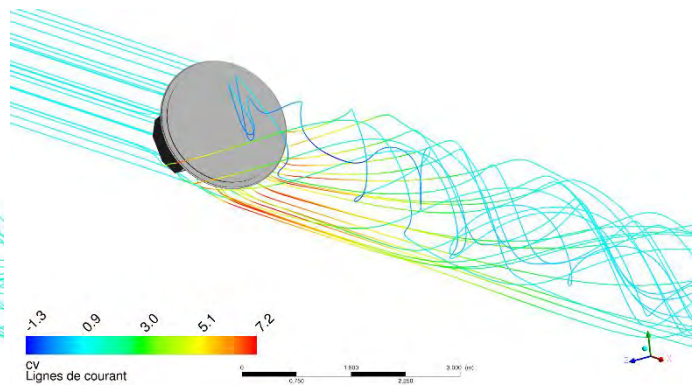
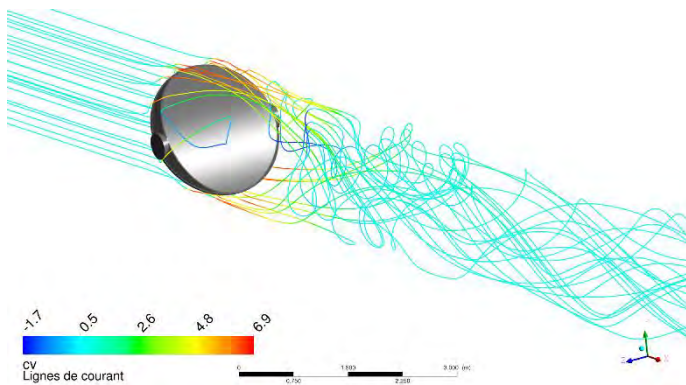


Figure 75 - Lignes de courant autour de l'ancienne vanne - 30°

Figure 76 - Lignes de courant autour de la nouvelle vanne - 30°

Comme on peut le voir grâce aux lignes de courant, l'écoulement en aval de l'obturateur n'évolue pas de la même manière entre les deux vannes. Particulièrement à partir d'une ouverture de 30°, où l'écoulement en dessus de la nouvelle vanne est bloqué et ne peut passer qu'en dessous de la lentille.

Cette différence de fermeture est probablement une des raisons qui explique cette chute des pertes de charge et du couple à partir de l'ouverture 30° pour la nouvelle vanne.

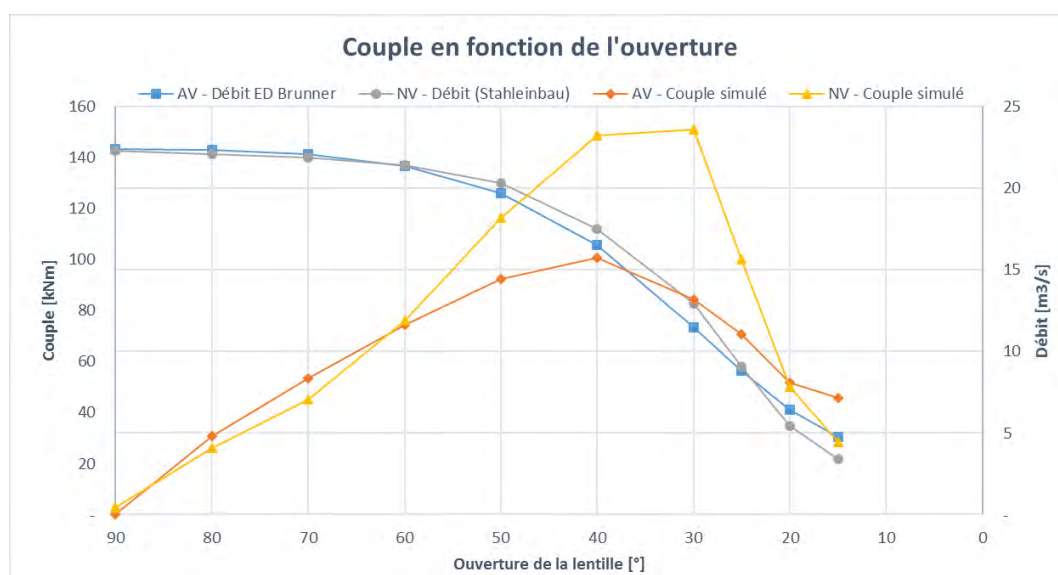


Figure 77 - Comparaison des couples simulés

Bien que les débits soient très similaires, le couple exercé sur la nouvelle lentille est bien supérieur à celui de l'ancienne vanne. Les coefficients de pertes de charge singulières de la nouvelle vanne semblent avoir été sous-estimé.

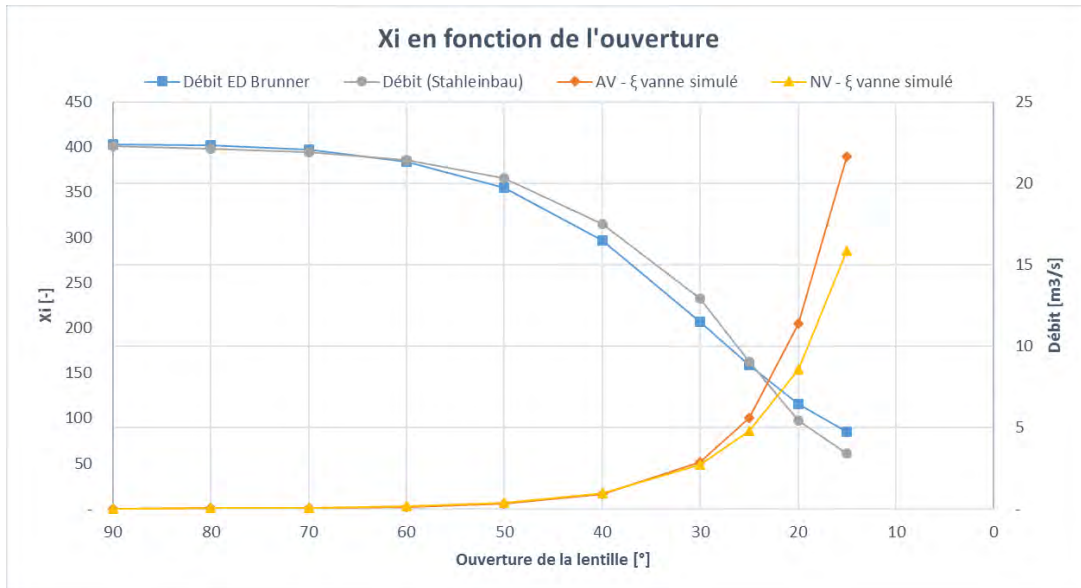


Figure 78 - Comparaison des coefficients de pertes de charge simulés

A la fin de la fermeture, les coefficients de pertes de charge et les débits sont supérieurs pour l'ancienne lentille, ce qui explique la différence des pertes de charge entre les deux vannes. Les pertes de charge étant proportionnelles au carré de la vitesse débitante, une faible différence fait vite varier le résultat.

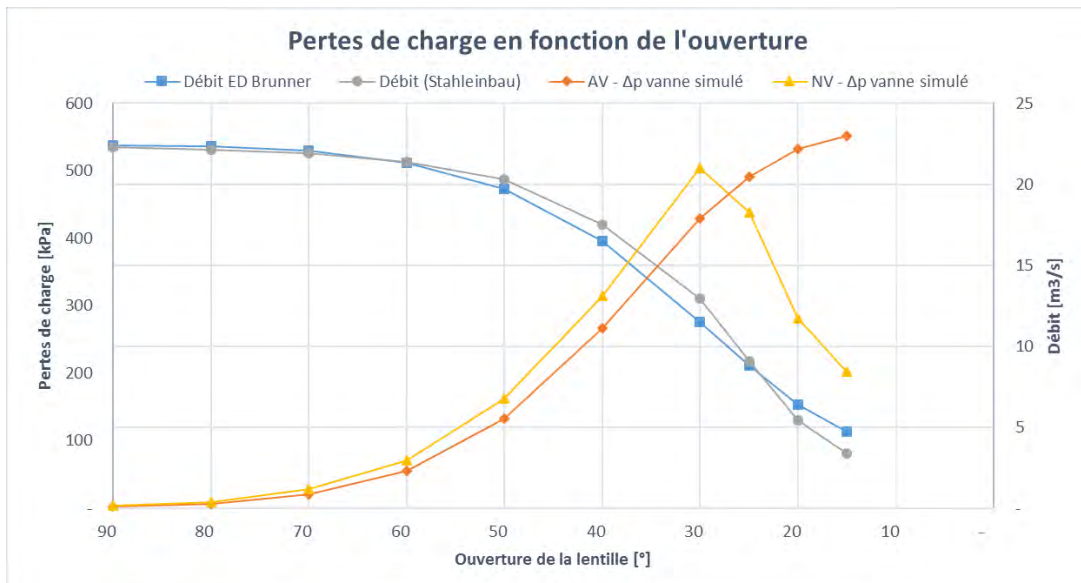


Figure 79 - Comparaison des pertes de charges simulées

7 Conclusion

La modélisation et la simulation numérique des écoulements sont des méthodes de calcul et d'analyse utilisées en étude de la mécanique des fluides. Elles permettent de simuler des phénomènes décrits par le modèle physique de Navier-Stokes, qui ne peut être résolu analytiquement.

L'entreprise Stahleinbau GmbH a proposé à la HES-SO Valais un projet de diplôme sur la prédiction des caractéristiques de deux vannes papillon par simulation numérique. Le premier obturateur est une vanne papillon de type classique, qui était en tête de conduite forcée de la centrale hydroélectrique d'Ackersand II, en Haut-Valais. Cette vanne a été mise en place à la construction de la centrale en 1958 et a récemment été remplacée par une nouvelle vanne papillon biplan, qui est le second obturateur traité durant ce projet.

Afin de prédire le couple exercé par le fluide sur les vannes et le coefficient de perte de charge, des simulations numériques stationnaires de l'écoulement turbulent ont été réalisées avec le logiciel ANSYS CFX.

La création d'un maillage et la sélection des paramètres du setup sont des étapes cruciales pouvant prendre beaucoup de temps, mais sont nécessaires afin d'obtenir des simulations satisfaisantes. La première étape du projet a consisté à tester plusieurs maillages hybrides et un structuré, différents modèles de turbulence et deux types de conditions limites en entrée. Après avoir défini les paramètres ainsi que le maillage final, les simulations permettant de prédire les caractéristiques des deux vannes ont pu être réalisées. Ces simulations ont été effectuées pour dix ouvertures correspondant à dix valeurs de débit pour chaque vanne.

Les résultats de la nouvelle vanne, de type biplan, ont été comparés à des valeurs empiriques. Les simulations numériques ont montré que le couple calculé avec la méthode ED Brunner sous-estime le couple maximum de 33%. Plusieurs tests de sensibilités pourraient être effectués, comme par exemple modifier le débit pour une ouverture donnée, afin de mesurer l'influence des paramètres d'entrée. Lorsque la nouvelle lentille est ouverte à 30° et moins, les coefficients de pertes de charge singulières empiriques ont été grandement surestimés. Ainsi les pertes de charge simulées de la vanne biplan sont inférieures aux valeurs empiriques pour ces dernières ouvertures simulées.

Les simulations de l'ancienne vanne ont permis de comparer cette dernière avec la nouvelle lentille. Le couple exercé par l'écoulement sur le nouvel obturateur est plus élevé que pour l'ancien. En revanche, les pertes de charge de l'ancienne vanne continuent d'augmenter même durant les derniers 30° de fermeture. Ainsi, les pertes de charge de la nouvelle vanne sont globalement plus faibles. La représentation des lignes de courant ont permis d'observer que les deux vannes n'ont pas la même influence sur l'écoulement. Des simulations plus avancées permettraient d'analyser si l'un des comportements de l'écoulement représente de grands avantages pour la conception du système.

Après analyse de ces résultats, il est encore difficile de savoir si ce sont les modèles empiriques où les simulations numériques qui se rapprochent le plus de la réalité. Pour départager ces deux méthodes, il serait intéressant de réaliser des essais sur modèle réduit. Cela permettrait soit de confirmer la méthode numérique, soit de corriger les valeurs empiriques.

Remerciements

Ce projet de Bachelor fut une expérience intéressante et enrichissante. Je tiens particulièrement à remercier les personnes qui m'ont aidé tout au long de ce semestre :

- **Mme Cécile Münch-Alligné** pour son aide lors de l'apprentissage sur les phénomènes hydrauliques durant la dernière année d'étude de Bachelor.
- **M Jean Decaix**, qui m'a aidé à bien comprendre le fonctionnement des différents logiciels de CFD et des difficultés de la simulation numérique des écoulements.
- **M Pascal Grand** qui a participé à la conception du modèle 3d de l'ancienne lentille durant le projet de semestre.

Références

- [1] Feuilles de cours illustrées B 2^{ème} édition ; Prof. Th. Bovet ; Institut de Machines Hydrauliques, EPFL
- [2] La turbulence ; Marcel Lesieur ; Collection Grenoble Sciences
- [3] Technische Strömungslehre ; Willi Bohl ; Vogel Fachbuch ; 2001
- [4] Technische Strömungslehre – Neunte, überarbeitete Auflage – Band 2 : Anwendungen ; Bruno Eck ; Springer-Verlag ; 1991
- [5] Mécanique des fluides – Cours et exercices résolus ; Marianne Hanauer ; éditions Bréal ; 1991
- [6] Computational Methods for Fluid Dynamics – Second edition ; Joel H. Ferziger – Milovan Perić ; éditions Springer ; 1999
- [7] Hydraulique et hydrologie – 2^e édition ; Saad Bennis ; Presses de l’université du Québec ; 2007
- [8] Ecoulements transitoires dans les aménagements hydroélectriques, 1 – Coup de bélier ; Dr. Christophe Nicolet
- [9] Ueber die Bauausführung des Wasserkraftwerkes Ackersand II ; E. Stambach ; 1959
- [10] Mécanique des milieux continus ; Nicolas Moës ; Ecole d’ingénieur, Nantes, France ; 2011
- [11] Notes de cours – Mécanique des fluides ; Christophe Ancey ; Laboratoire hydraulique environnementale (LHE), EPFL, Lausanne ; version 2016
- [12] The Finite Element Method : Its Basis and Fundamentals, Sixth edition ; O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, J.Z.Zhu ; Helsevier Butterworth-Heinemann ; 2005
- [13] Turbulence Modeling for CFD ; David C. Wilcox ; DCW Industries ; 1993
- [14] Etude et analyse des couches limites pour les écoulements turbulents ; Laure Billon ; CEMEF, Mines-ParisTech ; 2014
- [15] Mécanique des fluides ; Franck Nicoud ; Polytech Montpellier
- [16] Cours d’introduction à l’hydraulique ; Cécile Münch ; HES-SO Valais ; 2015
- [17] Cours sur la modélisation ; Cécile Münch ; HES-SO Valais ; 2015

Annexes

1. Plans de l'installation et de la lentille fournis par Stahleinbau GmbH

Date et signature

Sion, le vendredi 15 juillet 2016

Michael Crottaz

voir 367 c 12

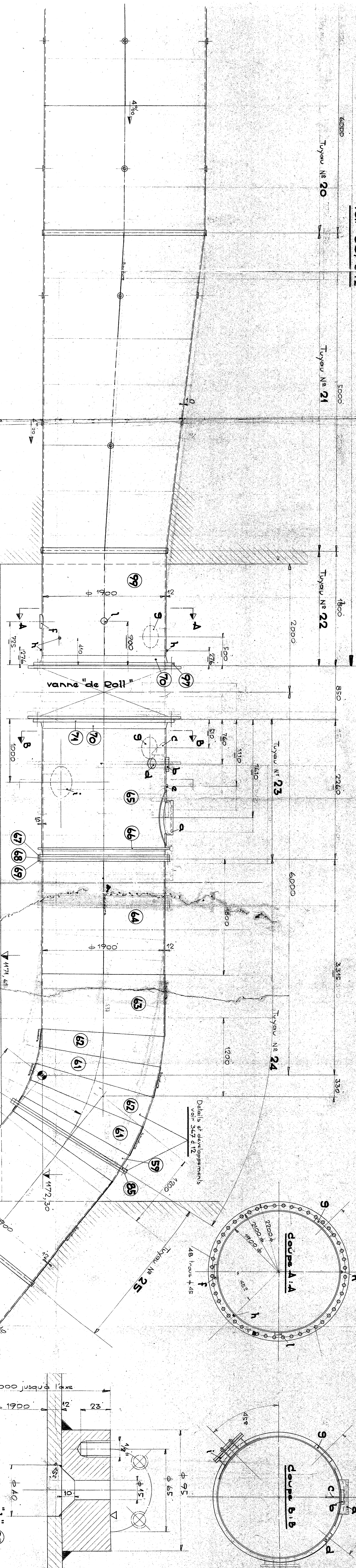
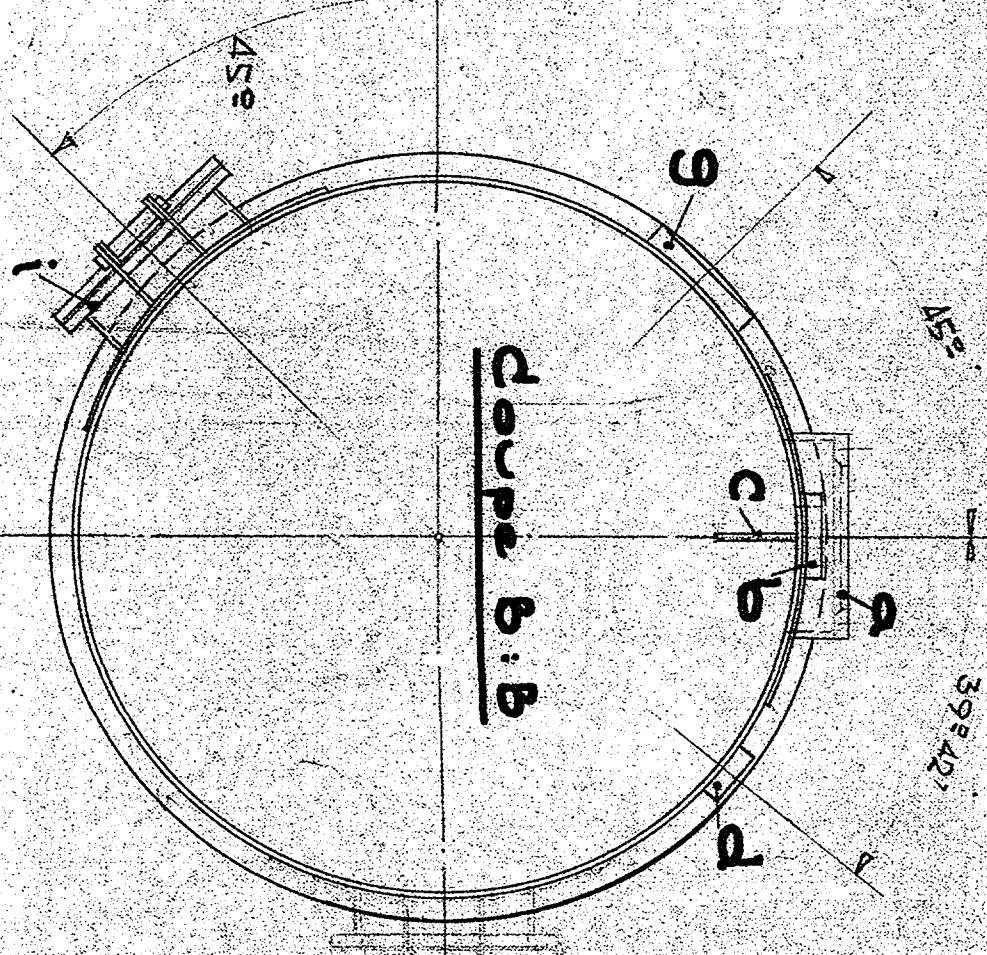
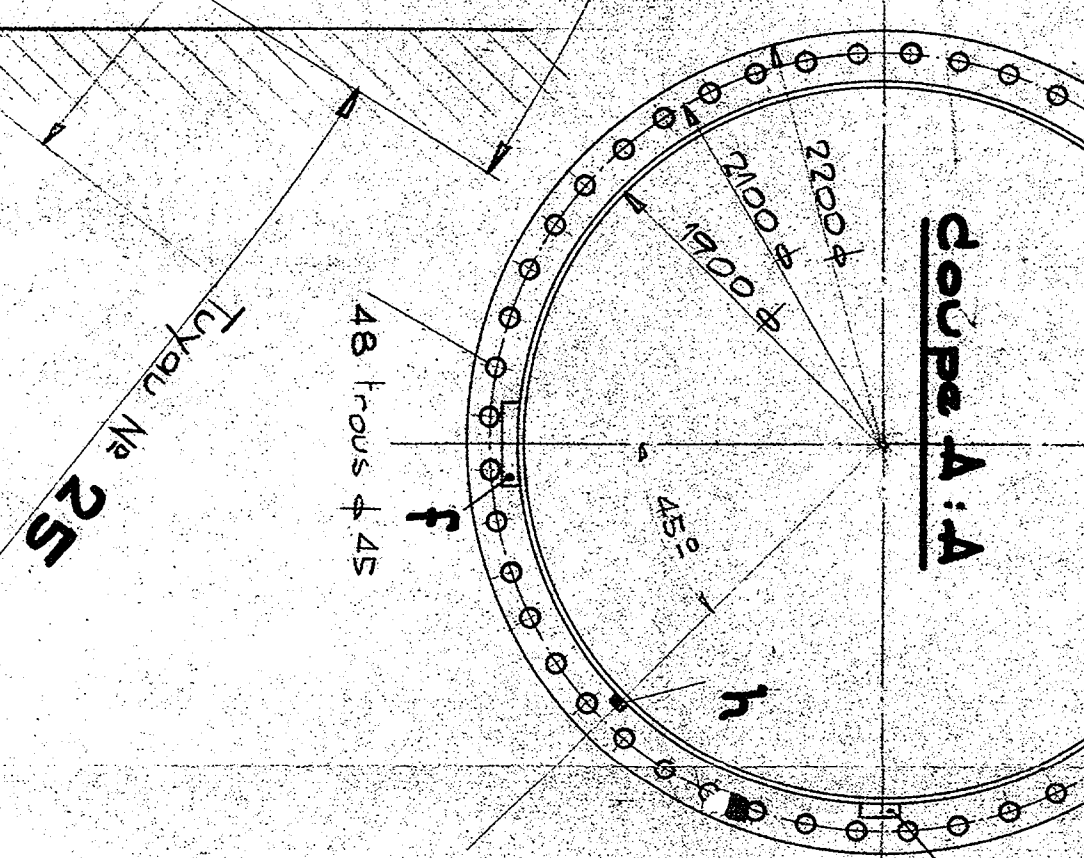
Tuyau N° 20

Tuyau N° 21

Tuyau N° 22

Tuyau N° 23

Tuyau N° 24



Coupe dans le sens transversal du tuyau

Coupe longitudinale

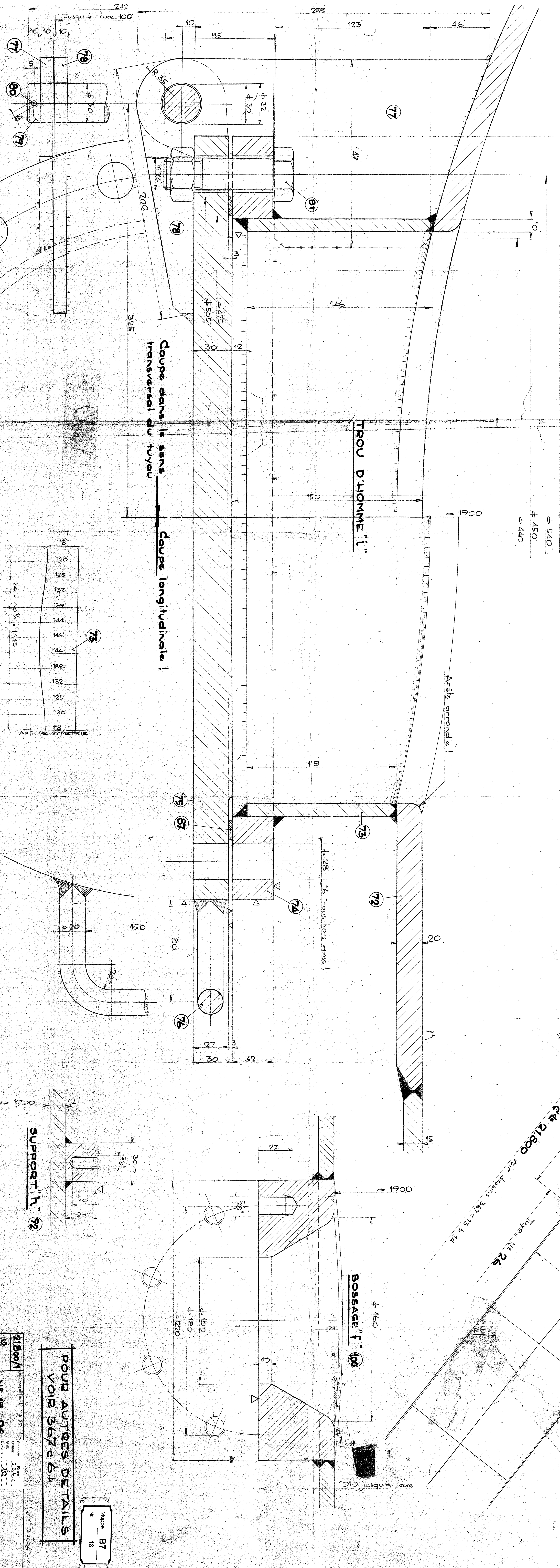
TROU D'HOMME "I"

Arête arrondie

Ø 28 - 16 trous hors axes

BOSSAGE "F" (9)

BOSSAGE "I" (93)



118
120
125
132
139
144
144
139
132
125
120
118

AXE DE SYMETRIE

POUR AUTRES DETAILS VOIR 367 c 6 A

100000
N°
18
B7

ALETSCHE A.G.
BALF
 No 19 5 26
 Centrale Ackermann II
 CHAMBRE DES YANNES
 DETAILS
 GIOVANOLA FRERES SA
 MONTREY

367 c 7

Eisenwerk Klaus
12. 11. 58

VON ROLL

M
L
Mappe **B6**
Nr. **35**

K W. A c k e r s a n d I I
Drosselklappe, 1900 NW für 7 atü.
automatischer Rohrabschluss mit
spezial Gummischlauch - Dichtung

Standort: **Büro**
Ordner: **234.1**
Griff: **1**
Dokument: **143**

Automatischer Rohrabschluss mit Schliessgewicht, eingerichtet für automatische und für Handschliessung an Ort und Stelle sowie für elektrische Fernschliessung, nach hydraulischem Schema Nr. WG2-90042 und elektrischem Schema Nr. EA 16255C.

I. Beschreibung

A) Aufbau

Dieser automatische Rohrabschluss besteht aus dem Drosselklappengehäuse 1, der Drehlinse 2, dem einseitig angeordneten Gewichtshebel 3 mit dem Schliessgewicht 11, der Verklüpfung 25 zur Verriegelung des Gewichtshebels 3, dem mechanischen Auslöseapparat 13 mit dem als Handhebel ausgebildeten Verstärker 17, der Klinke 16 zum Verriegeln des Verstärkers, dem Aufschlag 15 zur Dämpfung des Falles des Verstärkers, dem Hebel 23 zur Gewichtshebel-Verklüpfung, den Zugfedern 24 und 18, dem Betätigungshebel 20, dem Handbetätigungshebel 21 zur Auslösung der Schliessbewegung, dem Sicherungsschloss 22, dem elektrischen Auslöseapparat 19, dem Betätigungsgestänge 12 des hydraulischen Auslöseapparates 33 mit der angebauten Oelbremse 32 samt Drosselstift 31, dem Stauteller 34, dem Abweiser 28 und dem Gegengewicht 35.

Weiter gehören dazu: Der Oelkatarakt mit Kolbenstange 39, der Distanzring 40 für Hubbegrenzung "Klappe geschlossen", die Belüftungsschraube 79, der Katarakt-Deckel 42, der Distanzring 43 für Hubbegrenzung "Klappe offen", der Katarakt-Kolben 44, der feste Drosselstift 45 für die Endschiessgeschwindigkeit, die Entleerungsschraube 46, das Rückschlagventil 47, der Drosselstift 48 für die Regulierung der Endschiessgeschwindigkeit sowie die Entlüftungsschraube 41.

Die Oeldruckanlage für das Öffnen und Schliessen des Rohrabschlusses besteht aus dem Oelreservoir 67, der durch einen Elektromotor angetriebenen Zahnradpumpe 63, dem regulierbaren Ueberströmventil 62, der Handpumpe 65, den Rückschlagventilen 64 ohne Feder und 60 mit Feder, dem durch den Oeldruck automatisch gesteuerten Steuerventil 58 mit dem Steuerkolben 56 und der Regulierschraube 57, der Entlüftungsschraube 78, den Drucksteuerleitungen 61 und 49, dem Oeldruckmanometer 59, der Rücklaufleitung 55, dem Drosselschieber 54 für die Anfangsschiessgeschwindigkeit, dem Absperrschieber 53 sowie dem Oelstandsanzeiger 66, der Be- und Entlüftungsschraube 68 und dem Entleerungshahn 69.

Die Spezialdichtung besteht aus dem Gummischlauch 5, gehalten durch die Halteringe 4, der Wasser-Zulaufleitung 70, dem 3 Weg-Hahn 73 mit dem Steuerhebel 72, der Ablaufleitung 76, dem Filter 74, dem Absperrschieber 77 und der Druckentnahmestelle 75 an der bergseitigen Druckleitung.

Ferner gehören zur Ausrüstung: Die Umleitung mit dem Betriebs-Umleitungsschieber 10 und dem Reserve-Umleitungsschieber 7 sowie dem Umleitungsrohr 8, das automatische Lufteinlassventil 37 samt Ablaufrohr 38, die Entleerung mit dem Betriebs-Entleerungsschieber 51 und dem Reserve-Entleerungsschieber 50 sowie dem Ablaufrohr 52.

Die elektrischen Kontakte sind folgende: Endkontakt 26 für die Signalisation "Klappe offen", Endkontakt 27 für Pumpenmotor, Kontakt 29, Endkontakt 30 für die Signalisation "Klappe geschlossen", Verriegelungskontakt-Manometer 36 sowie Verriegelungskontakt 71.

B) Öffnungsvorgang

Der Rohrabschlussautomat darf in jedem Falle nur geöffnet werden, wenn die nachfolgende Druckleitung über die Umleitung ganz gefüllt ist, d.h. wenn der Wasserdruck vor und nach der Drehlinse über die geöffnete Umleitung ausgeglichen ist!

Ist diese Forderung erfüllt, so schliesst das Verriegelungskontakt-Manometer 36 im Steuerstromkreis. Der Handhebel 17 (als Verlängerung des Verstärkers), der seitlich aus dem mechanischen Auslöseapparat herausragt, wird so weit angehoben, bis er in der Klinke 16 festgehalten wird. Der Steuerhebel 72 des 3 Weg-Hahns 73 wird um 90° gedreht; das Druckwasser im Gummischlauch 5 kann durch die Leitungen 70 und 76 entweichen. Der Gummischlauch wird entspannt. Durch die Drehung des Steuerhebels 72 wird ebenfalls der Verriegelungskontakt 71 eingeschaltet. Der Steuerstromkreis ist nun geschlossen. Jetzt kann die Motorpumpe 63 in Betrieb gesetzt werden. (Bei einem Stromunterbruch wird die Handpumpe 65 betrieben.) Das geförderte Öl gelangt bis zum Rückschlagventil mit Feder 60 einerseits und bis zum Steuerkolben 56 des Steuerventils 58 andererseits. Die Kraftdifferenz der Federn in den Ventilen 58 und 60 hat zur Folge, dass der Steuerkolben 56 im Steuerventil 58 zuerst umgeschaltet wird (infolge der schwächeren Feder) und die Rücklaufleitung 55 abschliesst. Der steigende Öldruck öffnet das Rückschlagventil 60, und das von der Pumpe geförderte Öl wird durch die Drucksteuerleitung 49 direkt unter den Kolben 44 des Öl-Kataraktes gepresst. Dieser Kolben wird dabei nach oben gedrückt, wodurch die Drehlinse 2 über die Kolbenstange 39 und den Gewichtshebel 3 mit dem Gewicht 11 geöffnet wird. Die Öffnungsbewegung hat zur Folge, dass der Kontakt 30 die Signallampe "Klappe geschlossen" in der Zentrale ausschaltet und ebenfalls das Blinkrelais abstellt und ferner, dass der Kontakt 29 das Relais R2 im Steuerkasten der Apparatekammer umschaltet. Ist die Drehlinse 2 ganz geöffnet, so klinkt der Hebel zur Gewichtsverklantung 23 mit dem Gewichtshebel 3 selbsttätig in der Klinke 25 ein, wodurch die Drehlinse in der geöffneten Stellung festgehalten wird. Gleichzeitig werden die Kontakte 26 und 27 derart betätigt, dass einerseits der Kontakt 27 den Pumpenmotor 63 ausschaltet und das Blinken beim Öffnen mit Relais R2 verriegelt wird und andererseits der Kontakt 26 die Signallampe "Klappe offen" einschaltet und das Blink- und Warnrelais betätigt. Während des Öffnungsvorganges darf nun der Betriebs-Umleitungsschieber 10 geschlossen werden. Nach dem Öffnungsvorgang drückt die Feder im Steuerventil 58 den Steuerkolben 56 in die oberste Stellung, wobei das zu verdrängende Öl durch die Regulierschraube 57 in das Ölreservoir 67 fließt. Hat der Steuerkolben 56 die oberste Stellung erreicht, so ist die Rücklaufleitung 55 via Steuerventil 58 in das Ölreservoir 67 frei.

C) Schliessvorgang

Die Schliessung der Drosselklappe erfolgt entweder automatisch durch den hydraulischen Auslöseapparat 33 oder an Ort und Stelle von Hand durch Anheben des Handbetätigungshebels 21 (dieser Hebel ist gegen das Manipulieren durch unbefugte Personen mit einem Schloss gesichert), währenddem die Fernschliessung durch Drehen des Kurbelinduktors über den elektrischen Auslöseapparat 19 erfolgt.

1. Automatische Auslösung.

Die automatische Auslösung durch den hydraulischen Auslöseapparat 19 erfolgt, sobald in der Druckleitung die zulässige Höchst-Betriebswassermenge um etwa 20 % überschritten wird. Tritt eine solche Geschwindigkeitsänderung ein (zufolge Rohrbruches), so wird durch den hydraulischen Auslöseapparat 33 über das Betätigungsgestänge 12 die Klinke 16 zum Verstärker frei. Dieser fällt auf den Aufschlag 15 und entriegelt die Klinke 25 am Gewichtshebel.

2. Handauslösung.

Bei einer Auslösung von Hand wird der Handbetätigungshebel 21 nach oben gezogen und die Entriegelung geschieht auf die gleiche Weise wie bei der automatischen Auslösung.

3. Fernauslösung.

Wird die Schliessung der Drehlinse 2 von fern ausgelöst, so erfolgt die Entriegelung der Klinke 16 durch rasches Drehen der Kurbel am Kurbelinduktor. Die dadurch erzeugte Spannung verursacht im elektrischen Auslöseapparat 19 eine Drehbewegung um 180° der herausgeführten Welle. Auf dieser Welle befindet sich eine Exzenter-scheibe, die wiederum mit einer Lasche mit Betätigungshebel 20 verbunden ist. Durch die Drehbewegung wird die Lasche nach oben gezogen und die Entriegelung geschieht wieder gleicherweise wie bei der automatischen Auslösung.

Während der Schliessbewegung wird das Oel unter dem Kataraktkolben 44 durch die Leitung 49, die Absperr- und Drosselschieber 53 und 54, die Rücklaufleitung 55 und das Steuerventil 58 in das Oelbassin 67 zurückgepresst.

Kurz vor Erreichen der Endstellung erfährt die Schliessbewegung durch ein Ueberdecken des Oelablaufes im Katarakt-Unterteil mittels des Drosselstiftes 45 eine Verlangsamung, da das Oel nur noch durch eine kleine Öffnung, welche mit dem verstellbaren Drosselstift 48 mehr oder weniger reguliert werden kann, fliesst. Dadurch wird ein sanfter Abschluss der Druckleitung erreicht und ein unzulässig hoher Druckstoss verhindert.

Die beiden Schalter 26 und 27 melden auch hier die Endstellung der Klappe auf elektrischem Wege in die Zentrale und schalten das Blinkrelais ab und das Relais R2 um.

Mit dem Drosselschieber 54 wird die Anfangsgeschwindigkeit auf einem Weg von etwa 60° und mit dem Drosselstift 48 die Endgeschwindigkeit auf dem restlichen Weg von etwa 18° reguliert. Der Schieber 53 ist als Trennschieber gedacht; er ist während des Betriebes immer ganz offen. Die Handräder der Schieber 54 und 53 sind während des Betriebes abzunehmen.

II. Betriebsvorschriften

a) Einfüllen des Oels in die hydraulischen Steuerorgane.

Das Einfüllen des Oels in das Oelreservoir 67 (Einfüllmenge etwa 200 l) ist beim Steuerventil 58 durch den dort eingebauten Filter vorzunehmen. Wir empfehlen das Hydrauliköl "Diala C", ein Shell-Produkt, mit der Viskosität von 4,4° E, gemessen bei einer Temperatur von + 20° C, und dem Stockpunkt bis - 45° C.

Vor der Inbetriebsetzung der Anlage ist darauf zu achten, dass sämtliche Steuerorgane und Oelleitungen vollständig entlüftet sind. Um dies zu erreichen, werden die Entlüftungsschrauben 41 und 78 ausgeschraubt und mit der Handpumpe so lange Oel gefördert, bis dieses an den jeweiligen Öffnungen ausströmt. Erst in diesem Moment dürfen die Entlüftungsschrauben wieder eingeschraubt werden.

b) Verhalten bei Fehlschaltungen.

Bei fließendem Wasser in der Druckleitung, also bei Betriebszustand, darf die Klappe im Falle einer Fehlschaltung, wie auch bei Funktionskontrollen, sobald die Schliessbewegung einmal eingeleitet ist, durch Einschalten des Pumpenmotors oder durch Betätigen der Handpumpe in ihrer Bewegung aufgehalten und reversiert werden, solange das Lufteinlassventil noch nicht angesprochen hat. Falls sich die Drehlinse jedoch schon zu weit geschlossen hat und nach der Drehlinse dadurch Unterdruck entstanden ist, so öffnet sich das Lufteinlassventil 57 und es strömt Luft in die Druckleitung. In diesem Falle verriegelt der Schalter 36 die Betätigung des Pumpenmotors und der Drehlinse muss bis zum vollständigen Abschluss freien Lauf gelassen werden.

Bei ruhendem Wasser hingegen darf die Drehlinse im Falle einer Fehlschaltung während ihrer Öffnungs- oder Schliessbewegung beliebig weiterbewegt oder reversiert werden. Will man die Klappe in diesem Falle während ihrer Schliessbewegung aufhalten und reversieren, so erfolgt dies durch Einschalten des Pumpenmotors oder durch Betätigen der Handpumpe; das Steuerventil 58 schaltet automatisch um, wie unter I/3 "Öffnungsvorgang" beschrieben. Will man die Öffnungsbewegung aufhalten und reversieren, so drückt man auf den Druckknopf "Pumpe aus" und das Steuerventil 58 schaltet automatisch um. Das Drucköl oberhalb des Steuerkolbens 56 des Ventils 58 kann durch die eingebaute Reglerschraube abfließen. Nach ca. 10 Sek. ist das Oel infolge der Federkraft auf den Steuerkolben 56 verdrängt und die Rücklaufleitung auf Ablauf gesteuert; die Schliessung der Linse beginnt.

Nach jeder Fehl- oder Kontrollauslösung muss sofort nach dem Reversieren der Handbetätigungshebel 17 wieder in seine Ausgangslage gehoben werden, damit der Gewichtshebel 3 wieder richtig einklinkt und festgehalten wird.

Nach jeder totalen Fehl- oder Kontrollschliessung ist, wie bereits unter I/3 erwähnt, strengstens darauf zu achten, dass die nachfolgende Druckleitung, bevor die Linse wieder geöffnet wird, vollständig gefüllt und der Druck vor und nach der Drehlinse über die geöffnete Umleitung vollständig ausgeglichen ist. Die Klappe darf in keinem Fall vor dem vollständigen Druckausgleich geöffnet werden!

c) Spezial-Gummidichtung.

Die Spezial-Gummischlauchdichtung 5 dient dazu, um nach dem Schliessen der Drehlinse 2 und dem nachherigen Entleeren der talseitigen Druckleitung eine möglichst gute Abdichtung zwischen Linse und Gehäuse zu erreichen. Zu diesem Zweck wird der Steuerhebel 72 des Dreiweghahns 73 um 90° gedreht. Jetzt kann das Wasser aus der bergseitigen Druckleitung via Absperrschieber 77, Filter 74, Dreiweghahn 73 und Wasserleitung 70 in den Gummischlauch 5 dringen und denselben gegen die geschlossene Linse pressen.

Der Absperrschieber 77, der normalerweise immer offen ist, dient dazu, um beim Reinigen des Filters 74 den bergseitigen Wasserzulauf zu demselben zu unterbrechen.

d) Wartung.

Die verschiedenen Lager und Gelenke sind von Zeit zu Zeit zu schmieren; ebenso ist die Kataraktstange allseitig gut einzufetten. Dagegen sind die Auflageflächen der Klinke 16 und 25 fettfrei zu halten; diese müssen auch von Zeit zu Zeit in bezug auf Abnutzung kontrolliert werden.

e) Funktionskontrollen.

Zwecks Kontrolle der Funktionsbereitschaft des automatischen Rohrabschlusses und der dazugehörenden elektrischen Apparate sollte dieser mindestens jeden Monat einmal von Hand und auch elektrisch ausgelöst, sofort wieder aufgefangen und geöffnet werden. Mindestens einmal jährlich sollte die Linse komplett geschlossen werden. Bei dieser Gelegenheit, also bei ruhendem Wasser, ist die Linse zwei- bis dreimal ganz zu schliessen und zu öffnen. Während dieser Funktionsbewegung sind dann speziell alle Lagerstellen gut zu schmieren.

f) Einstellungen.

Der hydraulische Auslöseapparat 33 wird für eine gewisse Wassergeschwindigkeit gemäss Beschreibung vom 4. März 1954 und Schemazeichnung Nr. W 74593 eingestellt.

Luftinlassvorrichtung. Bei Anwendung eines Luftinlassventils 37 ist dieses nach Spezialinstruktion Nr. W 30990 zu behandeln.

Fernauslösung. Der Auslöseapparat 19 für Gleich- und Wechselstrom ist nach Spezialinstruktion vom 13. Juni 1935 und Schemazeichnung Nr. W 31236d zu behandeln.

Schmierung.

Als Schmierfett für die Hauptlager ist zu verwenden:

Blasolube 301 von der Firma W. Blaser & Cie., Chemische Fabrik, Technische Schmierstoffe, Hasle-Rüegsau.

Dieses Schmierfett weist grosse Beständigkeit gegen Quellung von Naturgummi, Wasserbeständigkeit, vollkommene Homogenität, Beibehaltung seiner Geschmeidigkeit und ausgeglichene Konsistenz auf.

Lagerhaltung: Blasolube bleibt auch bei längerer Lagerhaltung unverändert und verharzt nicht. Es ist gegen Verschmutzung zu schützen.

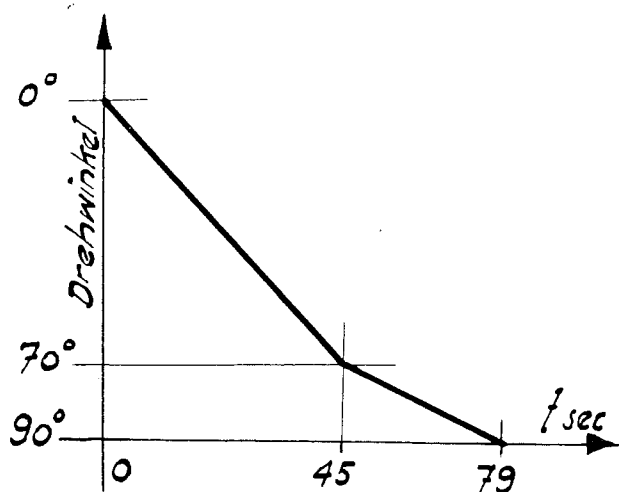
Als Schmierfett für die Kataraktkolbenstange, für die Lagerstellen bei der Steuerung und den übrigen Zubehöerteilen, wo nicht auf Gummimanschetten Rücksicht genommen werden muss, können gewöhnliche Graphit-Schmierfette verwendet werden.

Einstellung der Schliesszeiten.

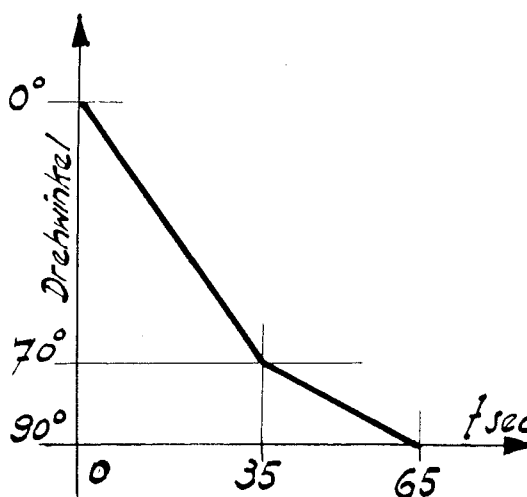
Einflussabschliesszeit, d.h. auf dem Weg von $0 - 71^\circ$ der Drehlinsenschliessbewegung, wird mit dem Drosselschieber 54 eingestellt, indem derselbe mehr oder weniger geöffnet wird.

Einflussabschliessgeschwindigkeit, d.h. auf dem Weg von $71 - 90^\circ$ der Drehlinsenschliessbewegung, wird mit dem Drosselstift 48 eingestellt, indem derselbe mehr oder weniger in die Drosselöffnung hinein- oder herausgeschraubt wird.

Schliessgesetz für
ruherndes Wasser



Schliessgesetz für
Betriebsabschluss $Q = 14 \text{ m}^3/\text{sec}$



Hydraulischer Auslösapparat mit angebautem Oel-
dämpfer, zu einem automatischen Rohrabschluss,
nach Zeichnung W 74 593.

I. Beschreibung.

a) Aufbau.

Dieser hydr. Auslösapparat ist dicht abgeschlossen auf der Druckleitung 14 aufgebaut und besteht aus dem Gehäuse 11, dem Pendel 17 mit der Prallplatte 18, vor welcher der Abweiser 19 an der Innenwand der Druckleitung eingeschweisst ist, dem Gewichtshebel 12 mit dem Gegengewicht 13, wobei das Pendel 17 und der Gewichtshebel 12 fest mit der drehbar gelagerten Welle 10 verbunden sind. Ebenfalls fest verbunden mit der Welle 10 sind auch der Antriebshebel 16 mit der Zugstange 20 (identisch mit Pos. 12. nach Schema WG2-90042.) und der Dämpfungshebel 7, der seinerseits mit der am äussern Ende angebrachten Gabel in die Kolbenstange 6 des Oeldämpfers 1 eingreift.

Dieser Oeldämpfer 1, der am Gehäuse 11 des hydr. Auslösapparates festgeschraubt ist, besteht aus dem mit Oel gefüllten Bremszylinder 2, dem Deckel 5 und dem Kolben 8, auf dem fest die Kolbenstange 6 sitzt. Am Zylinder 2 ist ein Ueberströmungskanal 3 angebracht, dessen freier Querschnitt durch die Regulierschraube 4 verändert werden kann.

b) Funktionsbeschreibung.

Dieser hydraulische Auslösapparat wird durch den Staudruck gesteuert, den das in Pfeilrichtung 15 durch die Druckleitung 14 strömende Wasser auf die Prallplatte 18 am Pendel 17 ausübt. Durch die vor dem Pendel 17 angebrachte Ablenkplatte 19 werden im Wasser mitschwimmende Fremdkörper von diesen weggelenkt, wodurch ein Ausstossen derselben an der Prallplatte 18 verhindert wird. Die zufolge von Druckstössen und Wirbelfäden am Pendel 17 auftretenden Schläge, werden durch die Wirkung des Oeldämpfers 1 in zulässigen Grenzen gehalten. Die Grösse der Dämpfung kann mit der Regulierschraube 4, durch einstellen des freien Durchflussquerschnittes durch den Ueberströmungskanal 3, eingestellt werden.

Für normalen Betrieb ist das Gegengewicht 13 so eingestellt, dass die Schliessung des automatischen Rohrabschlusses eingeleitet wird sobald die Wassergeschwindigkeit in der Druckleitung 14 auf den 1,2 fachen Wert von derjenigen bei Vollast der Turbinen angestiegen ist, (wobei dieser Geschwindigkeitsanstieg nur bei einem Rohrbruch eintritt)

Bei einer solchen Geschwindigkeitszunahme wird das Moment um die Drehachse 10 des auf die Prallplatte 18 wirkenden Staudruckes grösser als das Gegenmoment des Gewichtes 13, was eine Drehung der Achse 10 in Pfeilrichtung 9 bewirkt. Durch diese Drehung wird über den Antriebshebel 16 die Zugstange 20 in Pfeilrichtung 21 bewegt, wodurch der automatische Rohrabschluss entriegelt und geschlossen wird.

II. Betriebsvorschriften.

a) Ausrüsten des Geldämpfers.

Das Einfüllen des Oels in den Bremszylinder 2 erfolgt am zweckmässigsten bei demontiertem Deckel 5, ausgefahrenem Kolben 3 und ausgeschraubter Regulierschraube 4. Dabei ist es vorteilhaft den Bremszylinder 2 erst halb mit Oel zu füllen, dann den Kolben 3 einzufahren, in die unterste Stellung zu bringen und in Richtung des Hubes solange auf und ab zu bewegen, bis alle Luft darunter entwichen ist. Hierauf wird der Kolben 3 in der untersten Stellung belassen, der Bremszylinder 2 bis zum obern Rand mit Oel aufgefüllt, der Deckel 5 und die Regulierschraube 4 wieder aufgeschraubt. Auf diese Weise ist es möglich, das Oel einzufüllen, ohne dass in diesem noch Luftblasen eingeschlossen sind.

Wir empfehlen das gleiche Oel wie beim Oelkatarakt zu verwenden.

b) Einstellen des hydraulischen Auslösapparates.

Dieser hydraulische Auslösapparat ist für jede Anlage individuell einzustellen, d.h. den in der Druckleitung vorhandenen Strömungen anzupassen, was zweckmässig an Hand der nachfolgenden Beschreibung vorgenommen wird.

Um den Rohrabschluss nicht unnötig den bei einer Schliessung unter der vollen Strömung auftretenden grossen Beanspruchungen auszusetzen, was beim Einregulieren des Auslösapparates vorkommen kann, ist es äusserst ratsam vorher das Schliessgewicht des automatischen Rohrabschlusses (Pos. 11.. nach Schema #42-90042.) auf einen Pfeiler abzustützen um so eine Schliessung zu verhindern.

Hierauf wird das aus mehreren Einzelplatten bestehende Gegengewicht 13 am äussersten Ende des Gewichtshebels 12 mittelst den dazu vorgesehenen Schrauben befestigt. Alsdann werden sämtliche an die Druckleitung angeschlossenen Turbinen höchstzulässig belastet; so dass in der Druckleitung die grösste während des normalen Betriebes vorkommende Wassergeschwindigkeit auftritt. Zeigt sich dabei, dass das Moment um die Drehachse 10 des durch die Strömung 15 auf die Prallplatte 18 wirkenden Staudruckes grösser wird, als dasjenige des Gegengewichtes 13, also der Rohrabschlussautomat entriegelt wird, so ist die Schattenfläche der Prallplatte 18 zu verkleinern. Die Art wie dies am zweckmässigsten vorgenommen wird, ist auf dem Schema # 74 593 unter Detail B dargestellt.

Ist jedoch das Kompensationsmoment des Gegengewichtes 13 grösser, so ist dieses Gegengewicht bei gleicher Belastung der Turbinen solange auf dem Gewichtshebel 12 in Richtung gegen die Drehachse 10 zu verschieben, bis das Moment des Staudruckes auf die Prallplatte 18 überwiegt und über die Zugstange 20 die sichere Entriegelung des automatischen Rohrabschlusses erfolgt. Dabei ist auch die Zugstange 20 in ihrer Länge zwischen den Verriegelungsmechanismus und den hydraulischen Auslösapparat einzupassen.

Ist diese Stellung des Gegengewichtes 13 gefunden, so wird sie auf dem Schliesshebel 12 durch eine Marke (z.B. a) gekennzeichnet.

Bei der Forderung, dass der automatische Rohrabschluss in dem Moment wo die Strömungsgeschwindigkeit ca. den 1,2 fachen Wert der höchstzulässigen Betriebsgeschwindigkeit erreicht hat, entriegelt wird und sich schliessen soll, diese Geschwindigkeit aber durch Belasten der Turbinen nicht erreicht werden kann, muss die Stellung des Gegengewichtes 13 auf dem Gewichtshebel 12, für diesen Fall durch Extrapolation ermittelt werden.

Dazu wird die Belastung der Turbinen um 20 % reduziert, sodass die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers in der Druckleitung 14 kleiner wird und auch der Staudruck auf die Prallplatte 18 abnimmt. Nun wird das Gegengewicht 13 auf dem Gewichtshebel 12 von neuem soweit in Richtung gegen die Drehachse 10 verschoben, bis wiederum eine Entriegelung des automatischen Rohrabschlusses erfolgt. Diese neue Stellung des Gegengewichtes 13 die um das Mass x von derjenigen bei der Höchstbelastung entfernt ist, wird ebenfalls auf dem Gewichtshebel 12 durch eine Marke gekennzeichnet (z.B. b), was auch auf dem Schema W 74 593 unter Detail c dargestellt ist.

Diese Gewichtsverschiebungen sollten bei gleicher Belastung mindestens dreimal vorgenommen werden, um so einen brauchbaren Mittelwert zu erhalten.

Die Betriebsstellung c des Gegengewichtes 13 auf dem Gewichtshebel 12, welche ca. dem 1,2 fachen Wert der Höchstbelastung der Turbinen entspricht, liegt um das Mass y ausserhalb der gefundenen Marke a. (Das Mass y rechnet sich zu x mal 1,25). Das Gegengewicht 13 wird nun in diesem Abstand befestigt, der Gewichtshebel 12 von Hand nochmals angehoben, eine letzte Auslöskontrolle durchgeführt und die Anlage mit dieser Justierung in Betrieb genommen.

c) Funktionskontrollen.

Sollte sich bei den alle zwei Monate vorzunehmenden Kontrollschliessungen des automatischen Rohrabschlusses herausstellen, dass die Lage des Gegengewichtes 13 den Betriebsbedingungen nicht mehr entspricht, so ist eine neue Einstellung desselben vorzunehmen.

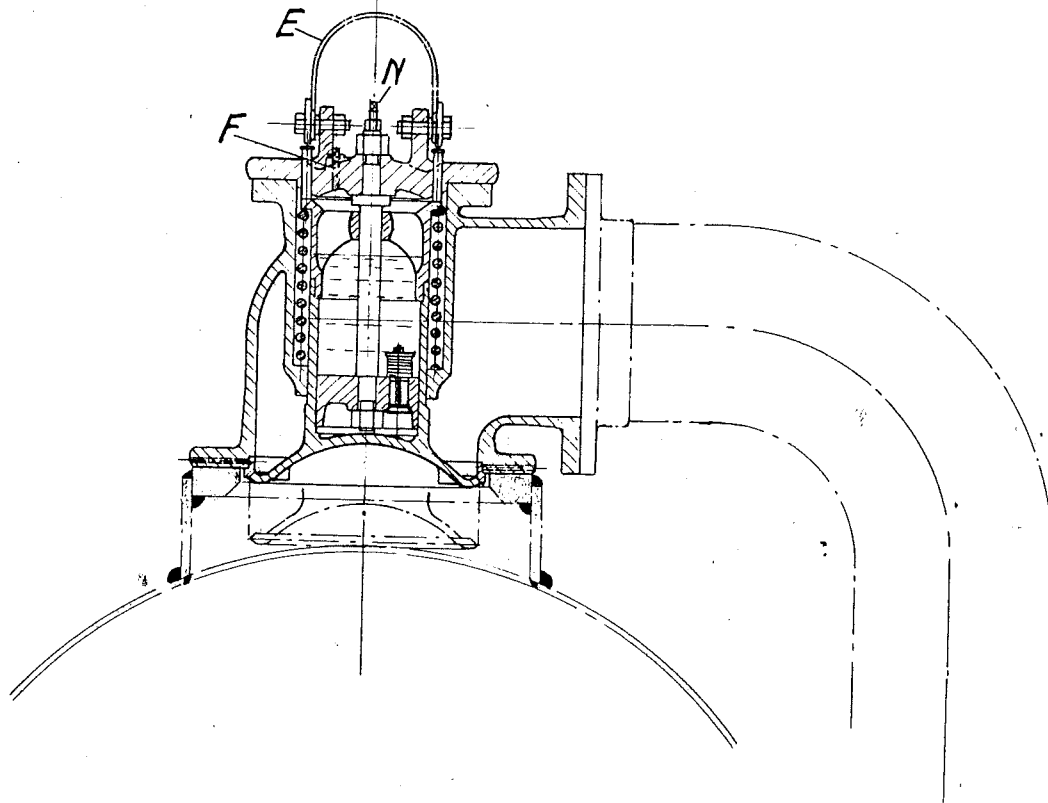
Ebenso sollte von Zeit zu Zeit der Ueberströmungskanal und der Bremszylinder des Oelämpfers gereinigt und mit frischem Oel aufgefüllt werden.

4.3.54
Schny/lr

L.von Koll'sche Eisenwerke AG.
Eisenwerk Klaus (Schweiz)

AUTOMATISCHES LUFTEINLASSVENTIL.

Fig 4020.



Bedienungs-Vorschriften.

Das Lufteinlassventil wird am Einlauf von Druckleitungen unmittelbar hinter automatische Rohrabschlüsse oder andere Absperrorgane angebracht.

Es öffnet sich automatisch und lässt Luft einströmen, sobald beim Schliessen des Absperrorganes in der unterhalb liegenden Leitung ein Vakuum entsteht. Das Lufteinlassventil ist mit einem Oelkatarakt versehen, der ein schnelles Oeffnen, jedoch nur ein langsames Schliessen zulässt, wodurch Wasserschläge in der Leitung vermindert werden. Der Oelkatarakt ist bei Montage mit 3,0 Liter Voltöl zu füllen, wozu die Füllschraube F vorgesehen ist. Die Nadelschraube N dient zur Regulierung der Schliessgeschwindigkeit, welche bei Herunterschrauben verlangsamt und bei Hochschrauben beschleunigt wird.

Das erforderliche Oel ist in unserer Lieferung inbegriffen.

Beim Füllen des Rohrstranges ist mit dem Exzenterbügel E eine halbe Umdrehung auszuführen, wodurch das Ventil geöffnet wird und Luft ausströmen lässt. Nach vollständiger Entlüftung, d.h. sobald Wasser austritt, ist der Bügel wieder zurückzudrehen. Das während dem langsamen Abschluss des Ventils austretende Wasser wird durch ein Rohr abgeleitet. Die Löcher im untern Flansch des Gehäuses dienen zur Entwässerung des Ventils.

K l u s, November 1930. Gesellschaft der
L. von ROLL'schen Eisenwerke

EISENWERK KLUS
in K l u s (Kt. Solothurn)

N^o W 30990

Beschreibung

des elektrischen Auslösapparates für Betrieb
mit Gleich- oder Wechselstrom nach Schema
W 31236d

Der Auslösapparat besitzt als Energiespeicher und Arbeitselement eine kräftige Spiralfeder F, die mittels Kurbel aufgezogen und in gespanntem Zustande durch ein mehrfaches Klinkensystem gesperrt wird. Von aussen kann diese Sperrung nur auf elektrischem Wege ausgelöst werden. Durch das Entklinken wird die in der Feder aufgespeicherte Energie wieder frei und mit grosser Geschwindigkeit dreht sich die Federachse A um etwa 270 Grad, wo deren Weg durch einen kräftigen Anschlag begrenzt wird. Die ersten 90 Grad dieser Drehung sind toter Weg, d.h. erst nach Durchlauf derselben wird mit Schlag die Auslöseachse N gekuppelt und 180 Grad mitgedreht.

Zum Kuppeln mit dem zu betätigenden Auslöseorgan besitzt die Auslöseachse eine Scheibe mit Kurbelzapfen. Dieser Kurbelzapfen kann, um jeweils 45 Grad versetzt, in 8 verschiedenen Lagen befestigt werden.

Die Spiralfeder F ist einerseits an einem Zapfen im Gehäuse und andererseits an dem auf der Aufzugachse A festsitzenden Hebel B befestigt. Dieser Hebel B liegt, in ausgelöstem Zustand des Apparates, unter Wirkung der Feder F, an einem festen Anschlag. Am Hebelende sitzt der Zapfen Z, der beim Spannen der Feder F nach etwa 270 Grad Drehung der Achse A auf die Fläche C der Greifklinke G des Hebels D trifft und nach weiterer Drehung den Hebel D soweit hebt, bis die vorn an D sitzende Klinke K aufliegt. Dadurch wird auch der Hebel B in der Greifklinke G arretiert.

Die Auslösapparate No. 1258 und 1259 für Gleich- bzw. Wechselstrom besitzen als Auslösesystem einen Magneten M mit Drehanker E, der durch eine Rückzugfeder R einen bestimmten Winkel aus den Polflächen verdreht ist. Die Bewegung des Drehankers wird durch eine Zugstange S auf den Hebel H übertragen, der einerseits auf der Achse J aufsitzt. Auf der letzteren ist im gespannten Zustand die Klinke K des Hebels D abgestützt. An der Auflagestelle der Klinke ist die Achse J zur Hälfte durchgefräst, so dass nach einer kurzen Drehung der Achse J die Klinke K ihre Unterstüttzung verliert und der Hebel D sich in der Pfeilrichtung bewegen kann.

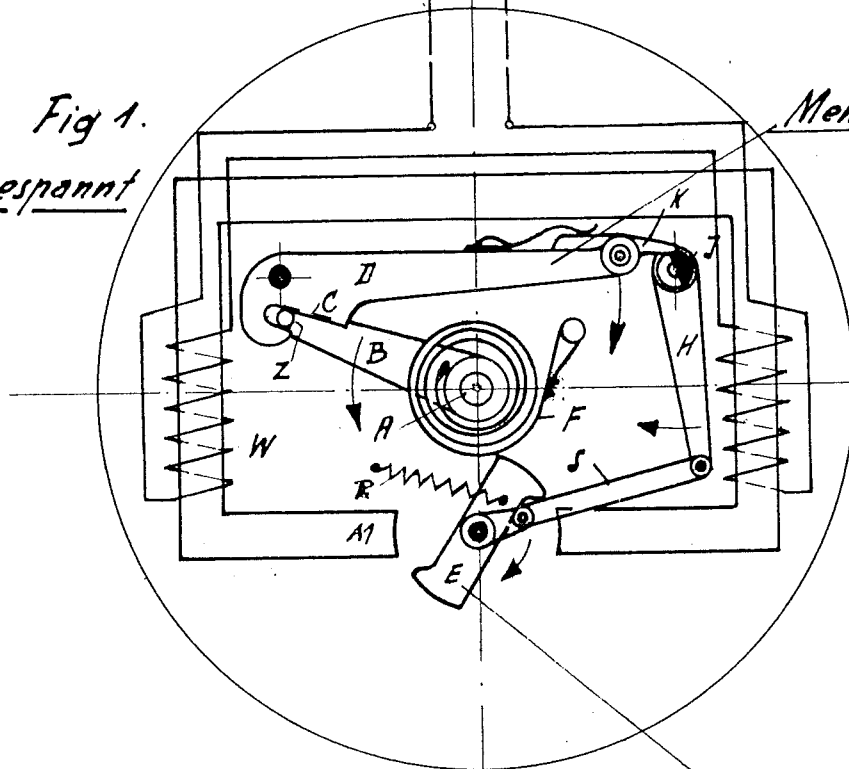
Wird nun das Magnetsystem M durch einen durch seine Wicklung W gesandten Strom erregt, so dreht sich der Anker E in der Pfeilrichtung zwischen die Polflächen. Durch diese Bewegung wird über die Zugstange S der Hebel H und damit seine Achse verdreht. Die Klinke verliert ihren Stützpunkt, der Hebel D folgt dem Druck des in der Greifklinke G arretierten Hebels B, der unter Einfluss der Feder F steht, in der Pfeilrichtung soweit, bis die Greifklinke G den Zapfen Z und damit den Hebel B und die Feder F freigibt und diese ihre Arbeit verrichten können. Nach dem Ausschalten kehrt der Anker E in seine Ruhelage zurück. Die Rückzugfeder ist so kräftig und die Masse des Ankers so gross, dass kurzdauernde Ströme, herührend von atmosphärischen Entladungen, nicht ausreichen, um den Apparat unzeit zu betätigen.

Elektrischer Auslösapparat

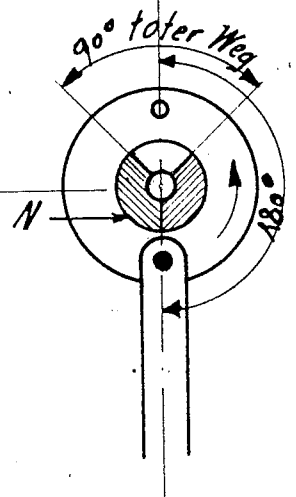
für Gleich- oder Wechselstrom.

Schema des Auslösesystems.

Fig 1.
Gespannt

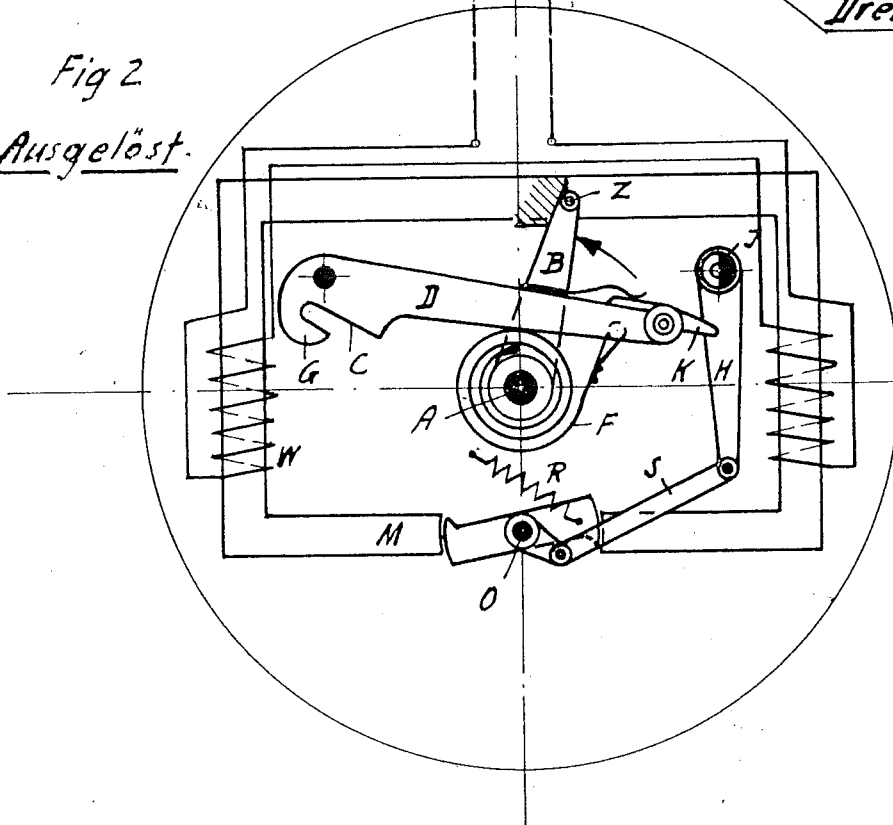


Mehrfaches Klinkwerk



Drehmagnet.

Fig 2
Ausgelöst



Ges. der Ludw. von Roll'schen Eisenwerke

Eisenwerk Klus

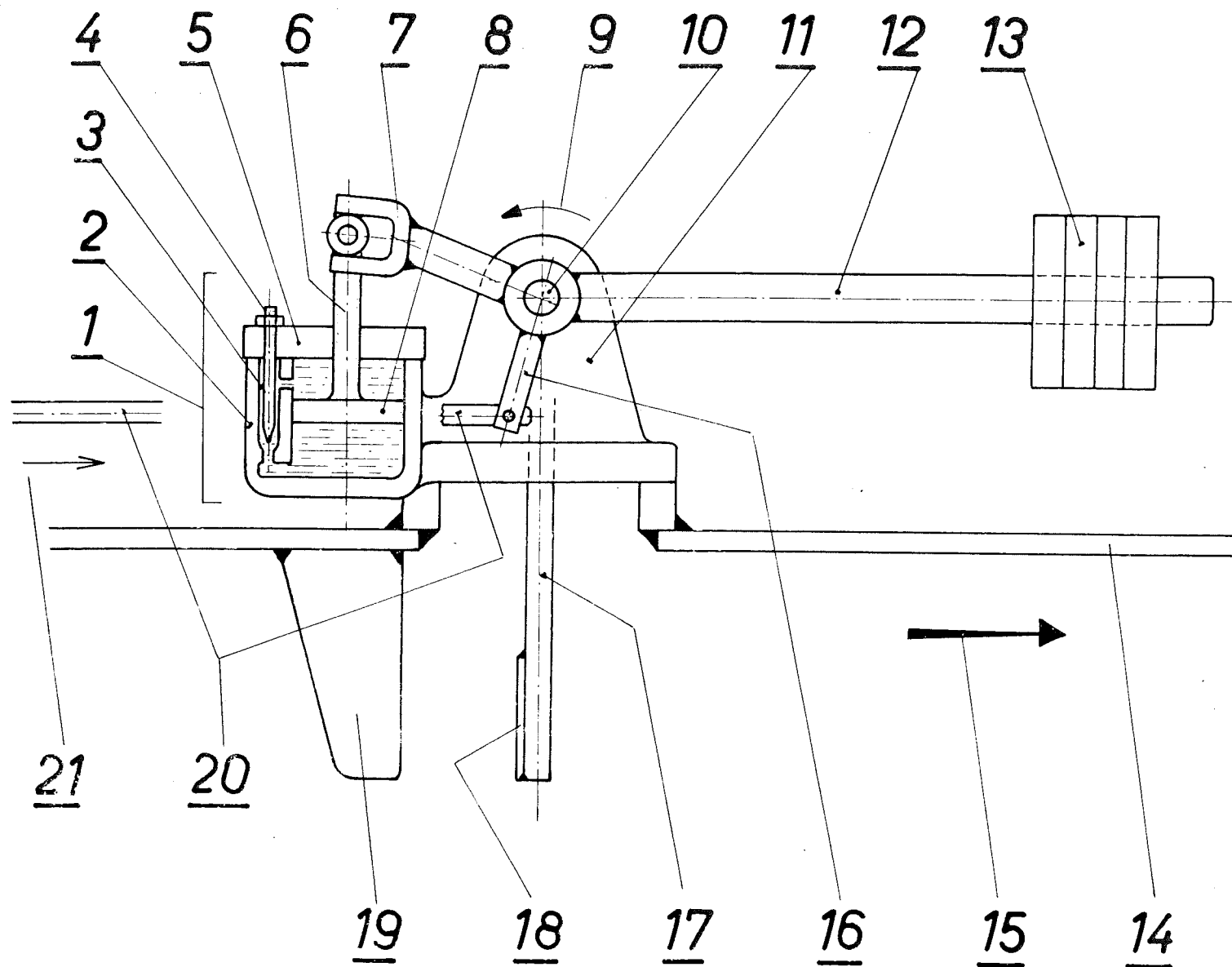
Datum: 21. Nov. 1934

Maßstab:

Gezeichnet:

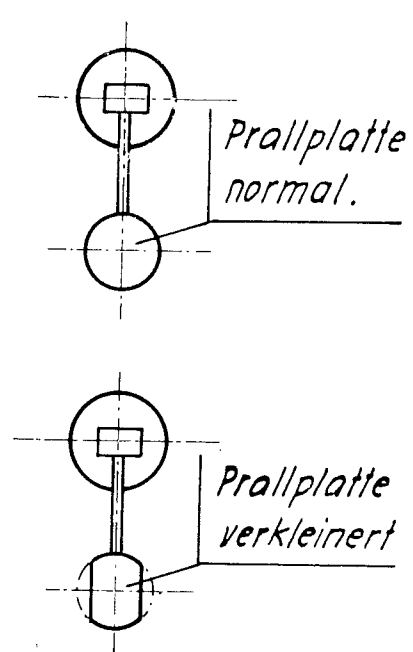
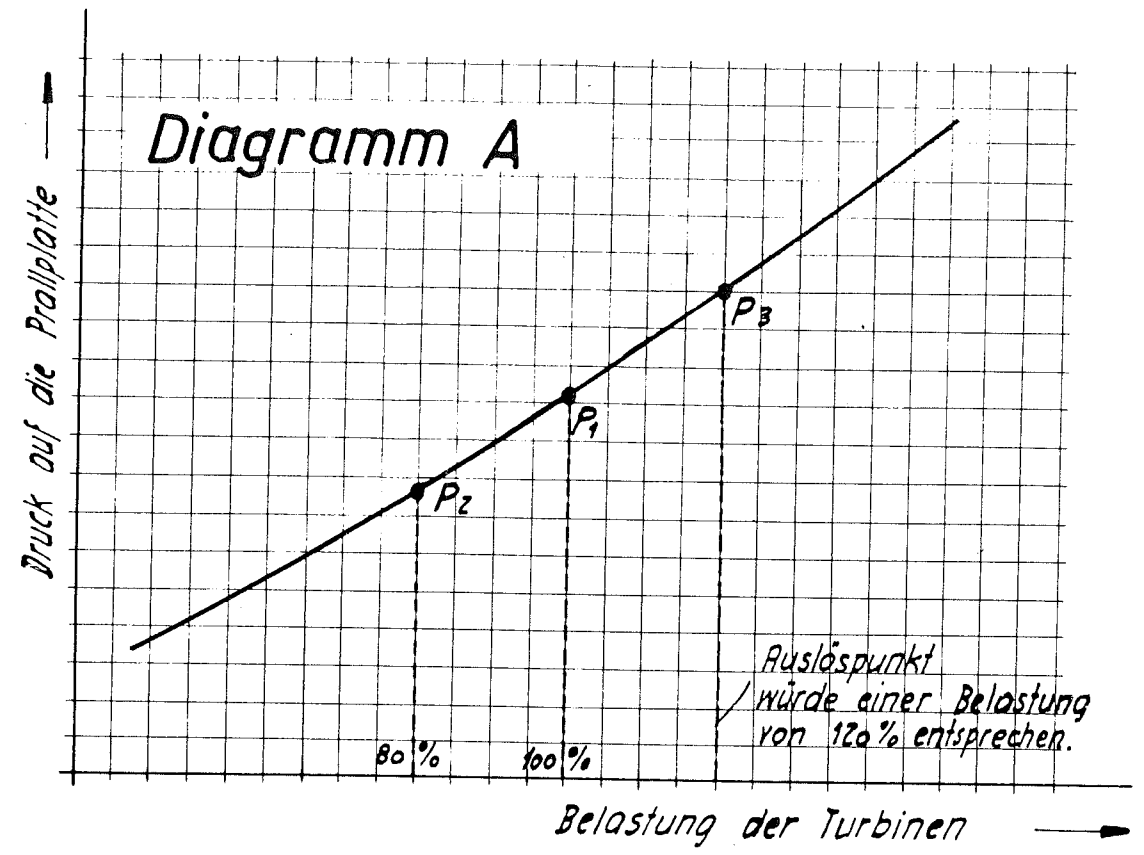
Geprüft:

№ W 31236 d
E

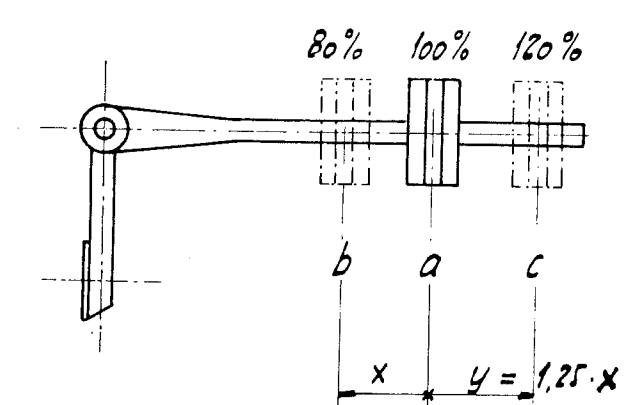


Legende.

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| 1 Deldämpfer | 11 Gehäuse zu Auslösapparat |
| 2 Bremszylinder | 12 Gewichtshebel |
| 3 Überströmungskanal | 13 Gegengewicht |
| 4 Regulierschraube | 14 Druckleitung |
| 5 Deckel | 15 Durchflussrichtung |
| 6 Kolbenlänge | 16 Antriebshebel |
| 7 Dämpfungshebel | 17 Pendel |
| 8 Kolben | 18 Prallplatte |
| 9 Drehrichtung | 19 Ablenkplatte |
| 10 Drehachse | 20 Zugstange |
| | 21 Bewegungsrichtung |



Detail B.

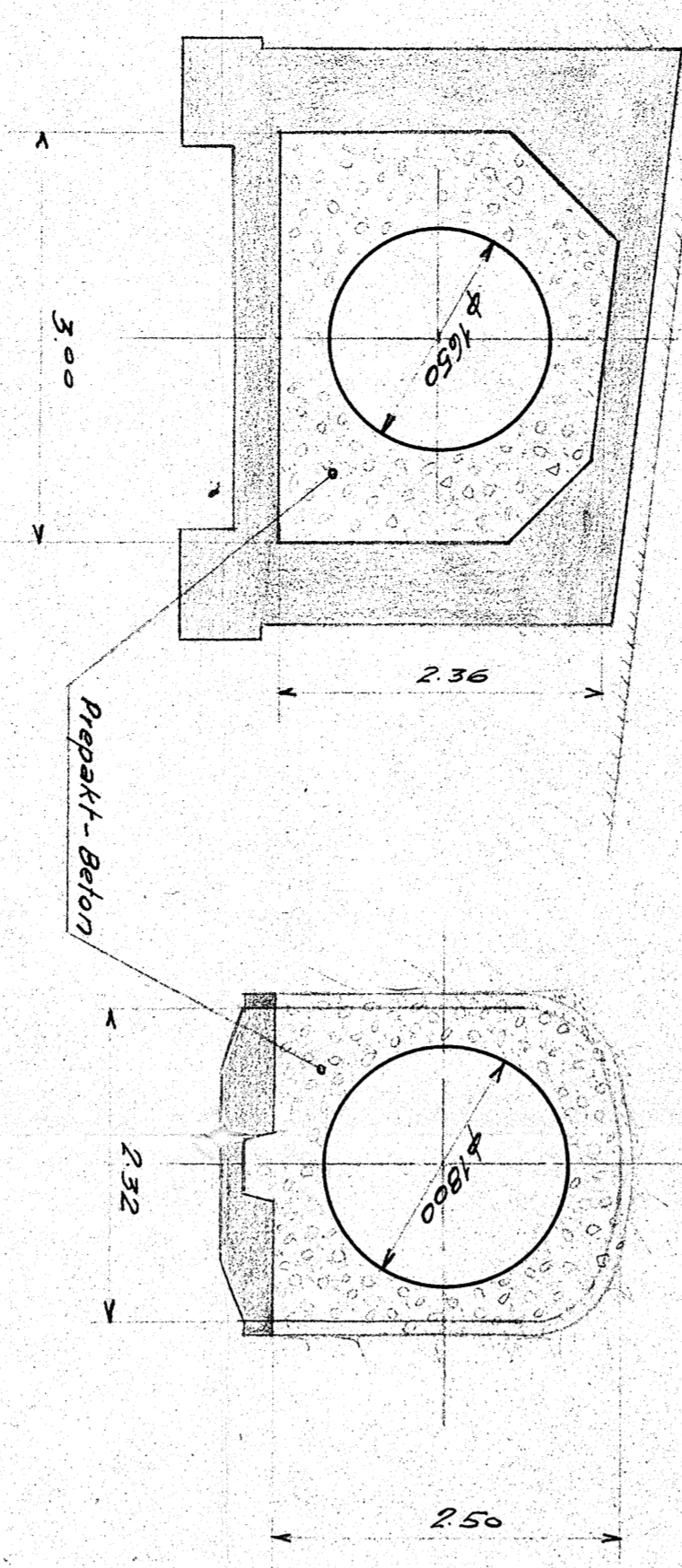
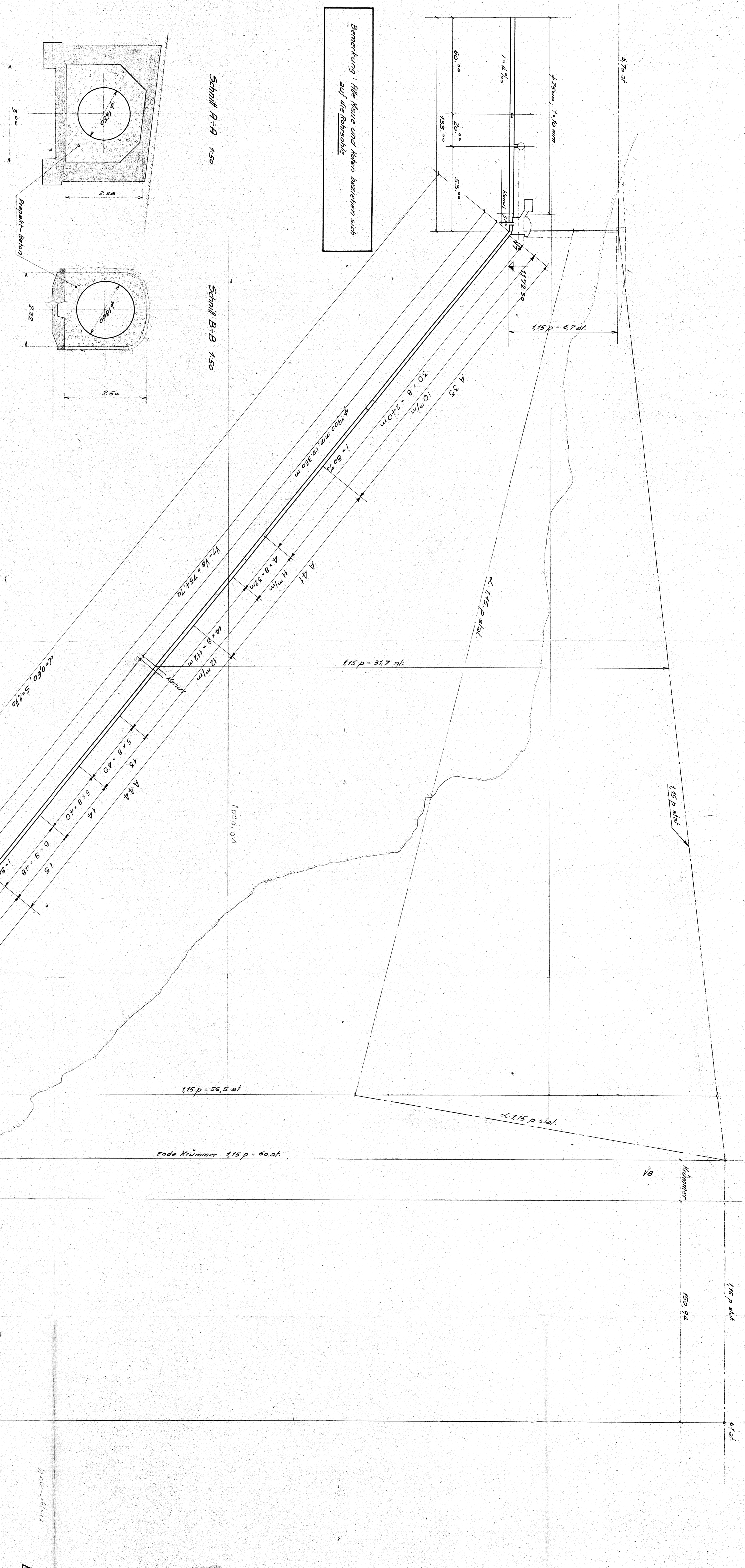


Detail C.

Hydr. Auslösapparat zu autom. Rohrabschluss.

Ges. der Ludw. von Roll'schen Eisenwerke A.G.		Maßstab: ---	
Eisenwerk Klus		Gezeichnet: <i>Wohlfahrt</i>	Geprüft: <i>Leg</i>
Datum: 1. März 1954		W 74593	

Bemerkung: Alle Maße und Höhen beziehen sich auf die Ruhelage



- Angaben für die Bemessung der Wandstärken:
- a. Drucklinie p stat. + 15%
 - b. α -Werte: Lastwinkel der von der Panzerung aufgenommen ist
 - c. S -Werte: Sicherheitsfaktor bezogen auf die Strecklänge Q

H. W. Ackersand
 Drucksachf - Panzerung
 1400, 1-50
 Beilage 9

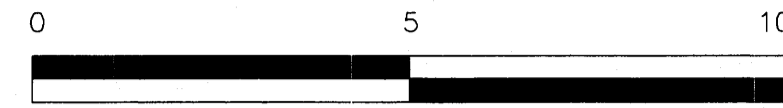
MOTOR-COLUMBUS
 ANF. 1970
 BADEN, SCHWEIZ
 Standort: Burg
 Gmter: 2274
 Dokument: 205

1400

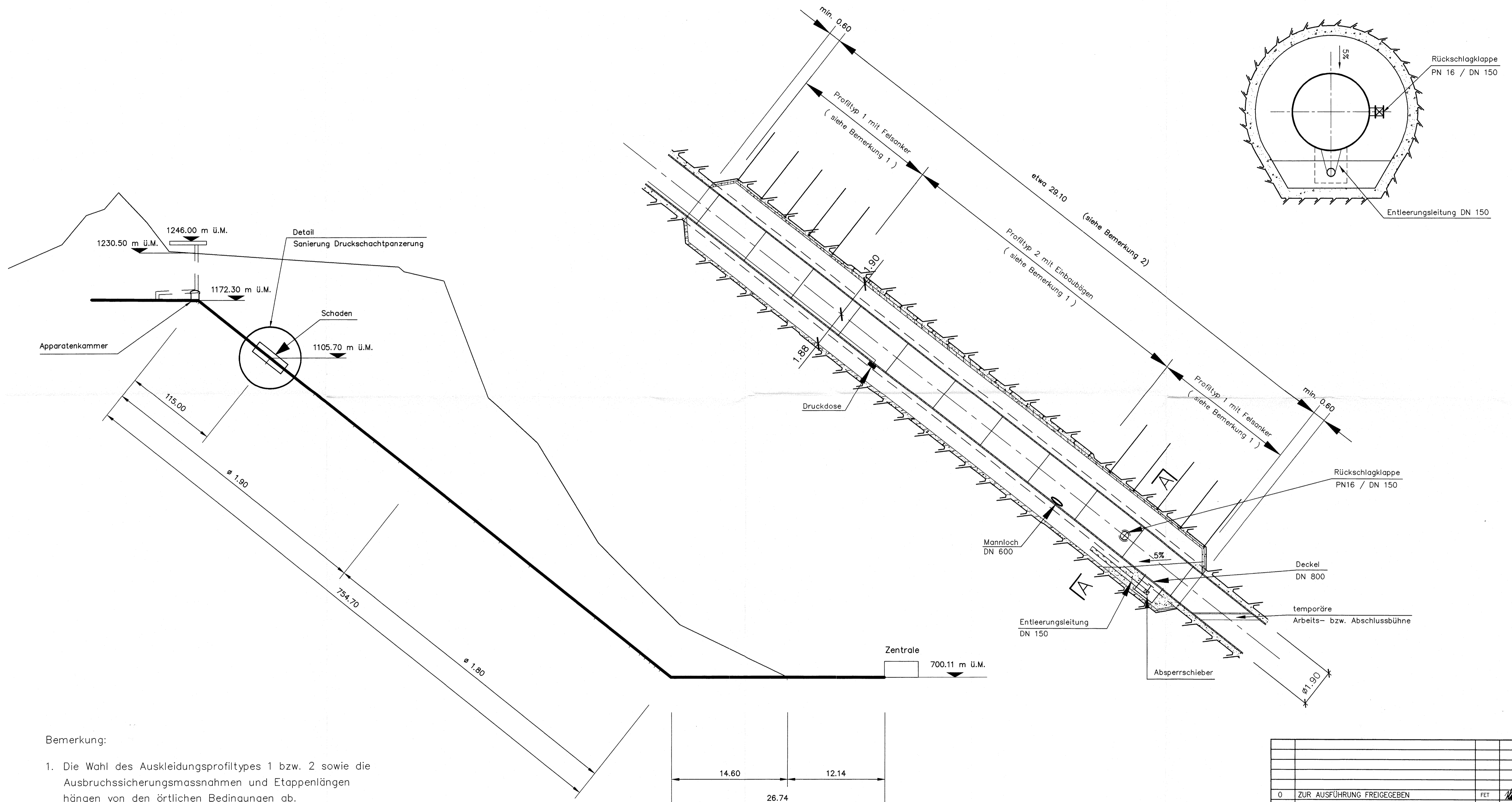
Längenprofil Druckschacht Ackersand 2



Detail Sanierung Druckschachtpanzerung

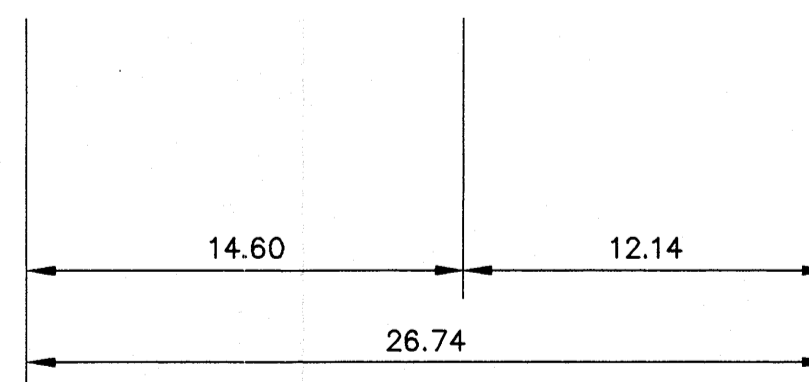


Schnitt A - A



Bemerkung:

- Die Wahl des Auskleidungsprofiltypes 1 bzw. 2 sowie die Ausbruchssicherungsmaßnahmen und Etappenlängen hängen von den örtlichen Bedingungen ab. Die Wahl geschieht in Absprache mit der Bauleitung, dem Bauherr (Geologe als Berater) und dem Unternehmer.
- Die definitive Länge des Ausbruches wird anhand der vorgetroffenen Situation bestimmt. Die Lage und die def. Länge des Abbruches der Stahlpanzerung werden von der Bauleitung markiert.



Zugehörige Pläne:

- 60.1048.02.002 Detail Ab- bzw. Ausbruch und Betonabschluss
- 60.1048.02.003 Profiltyp 1 und 2
- 367c114-8 Giovanola Gesamtübersicht
- 367c114-9 Giovanola Mannloch DN 600
- 367c114-10 Giovanola Entleerungsleitung

0 ZUR AUSFÜHRUNG FREIGEgeben				FET	13.09.00
Index	Aenderungen	gez.	gepr.	Datum	Film
Aletsch AG					
Kraftwerk Ackersand 2			Ausführung		
Druckschacht					
Sanierung der Druckschachtpanzerung					
Längsschnitt					
KURZTITEL		CODE	MIKROFILM		
GEZ.		FET	DATUM 13.09.2000		
GEPR.		HAF	FORMAT A1		
MASSSTAB 1:250 / 1:100 / 1:50				INDEX	
COLENCO Colenco Power Engineering AG CH-5405 BADEN/SCHWEIZ		60.1048.02.001		0	

Blatten

Riedji

Sparren Teil

Lärchji

Grossberg

Riedfluh

Törbel

Ausgleichsbecken u. Wasserfassung

Blattbach

Spisszug

Sparrenzug

Jungbach

Kalchenzug

Emdbach

Törbelbach

Zuleitung des Jungbaches und Emdbaches

Nebenkraftwerk Emd

Wasserschloss

1230,50

1400
1300

1230,50

1189,50

1172,30

1000

900

800

701,00

700

360 m Rohrleitung ϕ 2.50 m

Bifig Schwidernen

Druckstollen L = 12496 m, ϕ 2.50

J = 4 ‰

Km. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

St. Niklaus

Fenster St. Niklaus

Fenster Kalpetran

Fenster Törbel

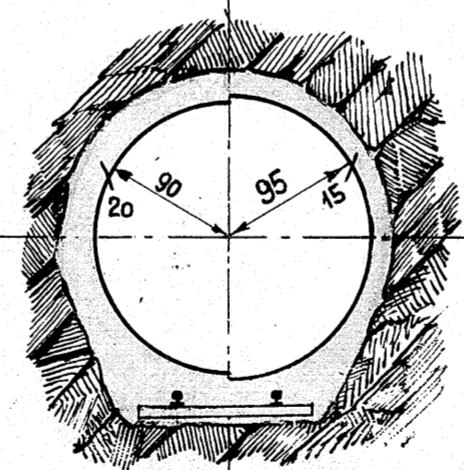
Jungbach

Emdbach

Kalpetran

Mattlerispe

Druckschacht 1:50



Druckschacht L = 905 m, ϕ 1.90/1.80 m

Bruttogefälle = 529,50 m
Nettogefälle $Q = 14 \text{ m}^3/\text{sec} = 486,50 \text{ m}$

Maschinenhaus Ackersand 57000 KW

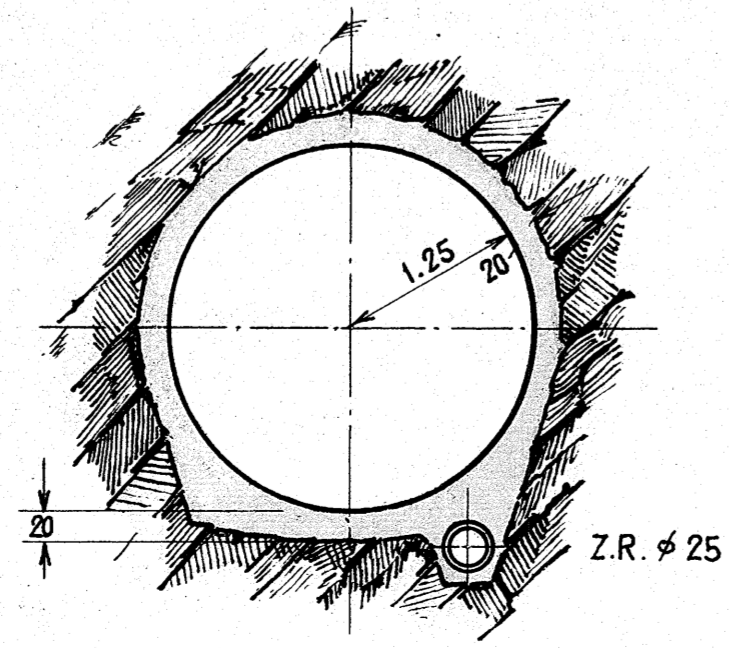
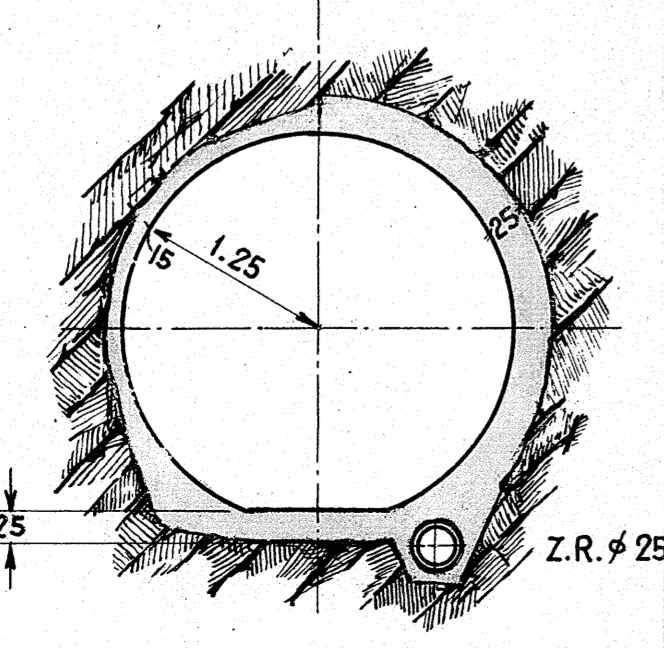
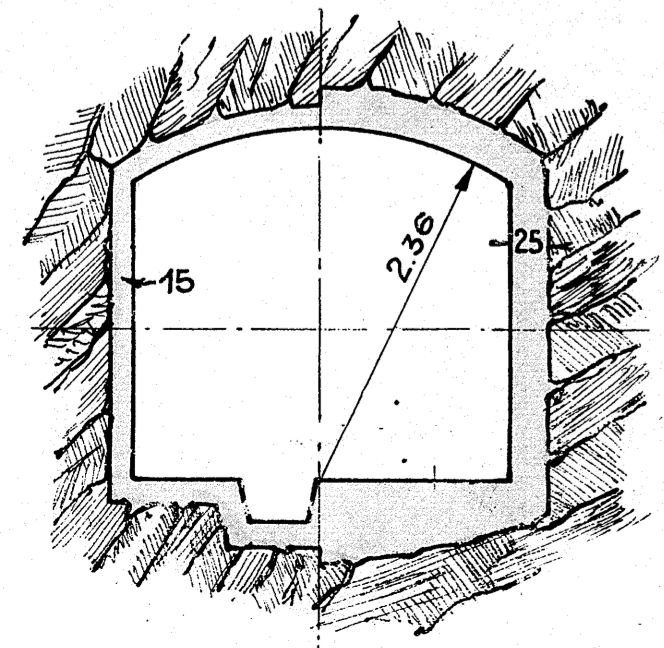
Unterwasserkanal Druckleitung

Stollenprofiltypen 1:50

Fensterstollen Betonverkleidung 15 cm bzw. 25 cm

Betonverkleidung in standfestem, hartem Fels 15 cm in gebrächem Fels 25 cm

Panzerrohrstrecke



20 1/3 Lonza A.G. Basel

B. 1831

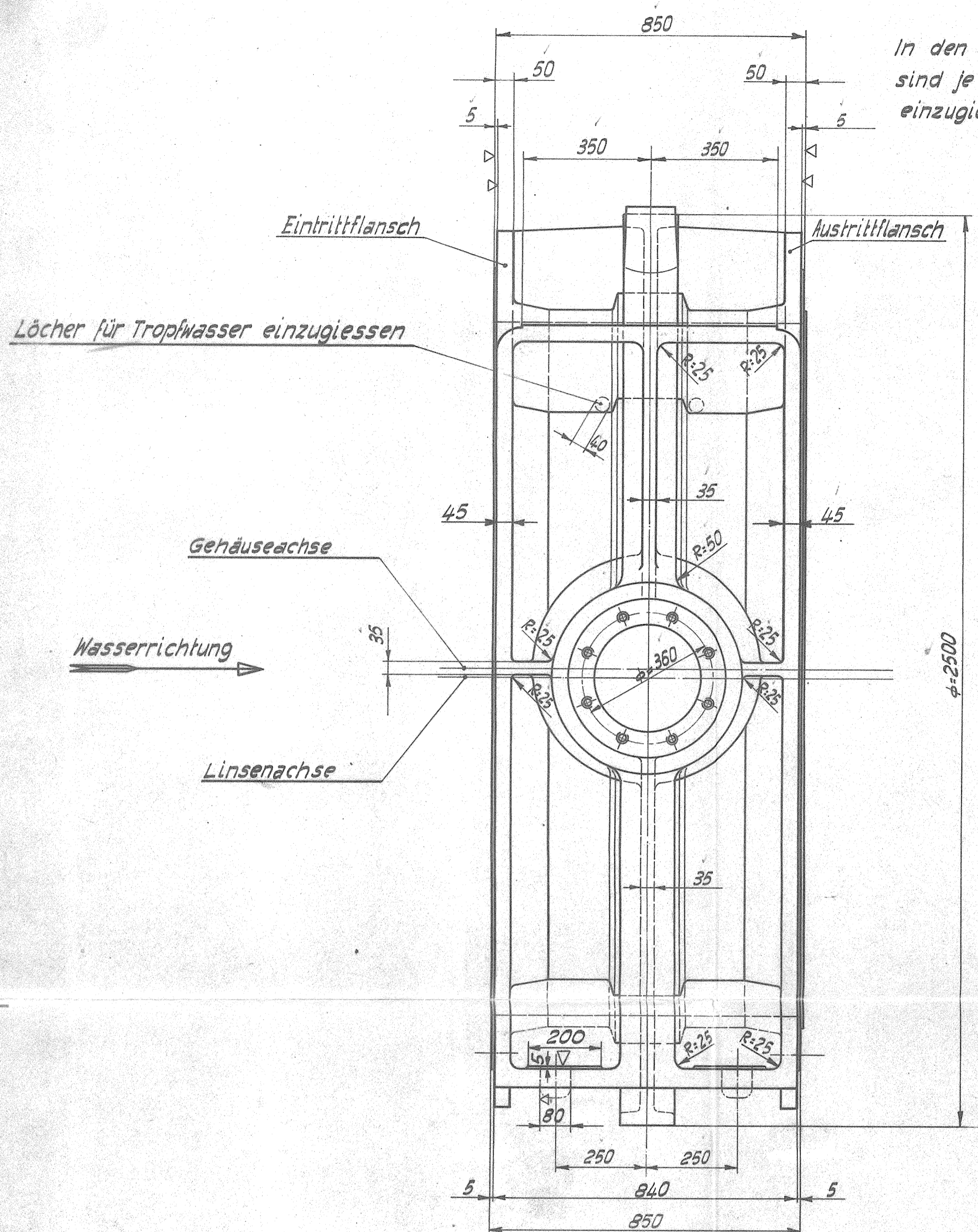
KRAFTWERK ACKERSAND II PROJEKT 1956

Längenprofil 1: 25 000 / 2000

Standort: Bürg
Ordner: 2.2.3.111
Griff: A
Dokument: A02

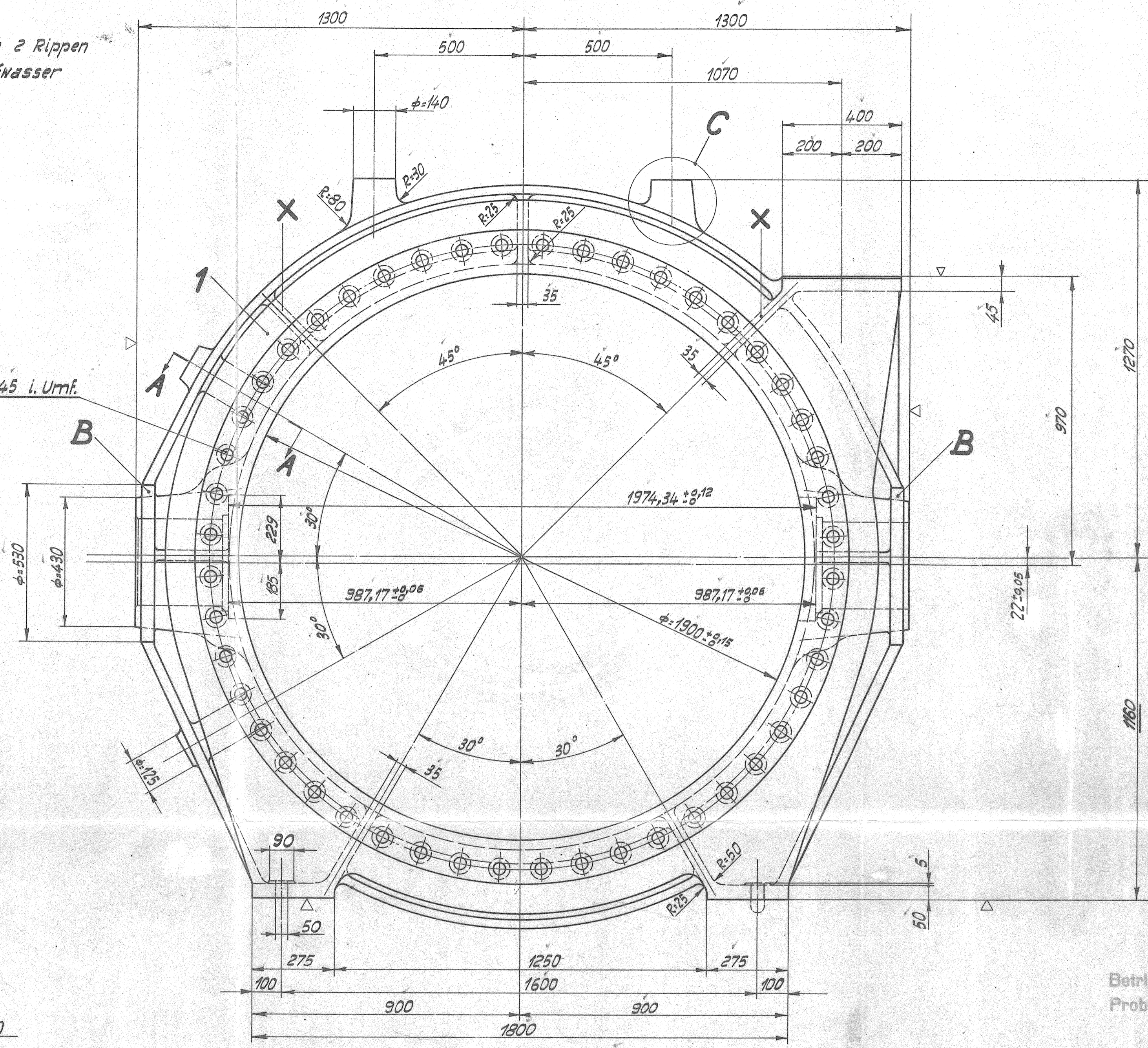
MOTOR-COLUMBUS
 AKT.-GES. FÜR ELEKTRISCHE UNTERNEHMUNGEN
 BADEN / SCHWEIZ

F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1: 25 000	1: 20 000	30.XI.55		No. 114 o 16																



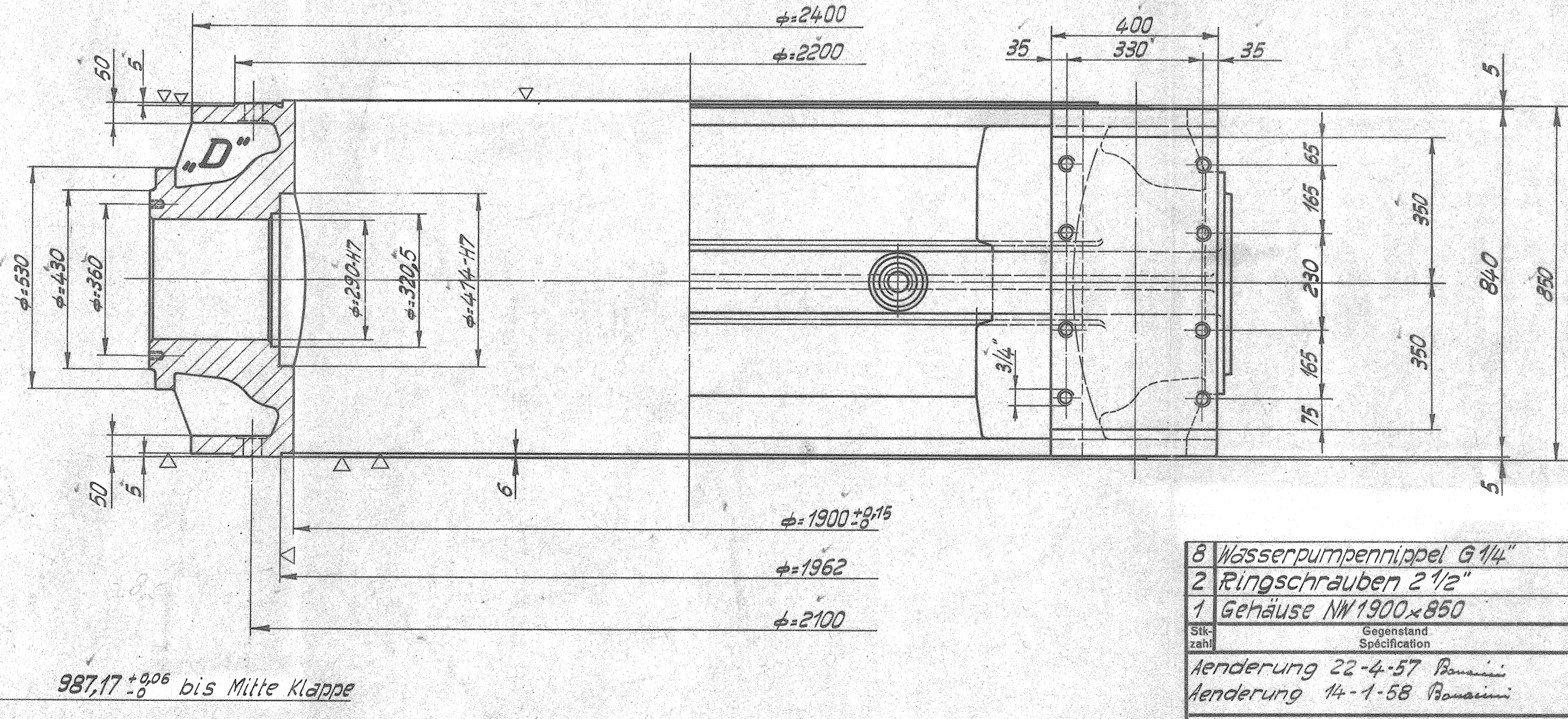
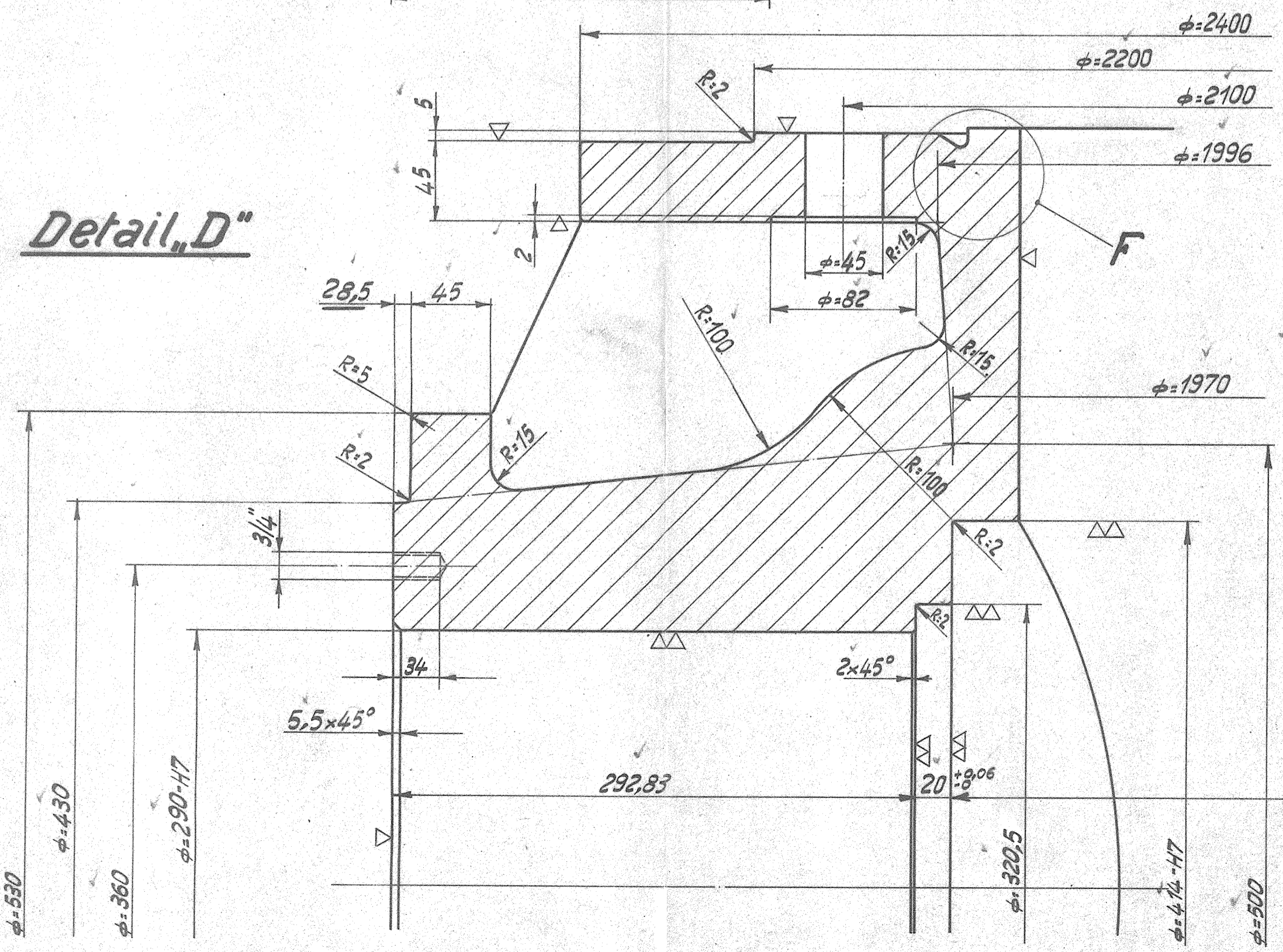
In den mit X bezeichneten 2 Rippen sind je 2 Löcher für Tropfwasser einzugießen

48 Löcher $\phi=45$ i. Umf.



Betriebsdruck 7 at.
Probdruck 12 at.

Detail „D“



Mappe B6
Nr. 4

Das Urheberrecht an diesen Zeichnungen und allen Beilagen, die dem Empfänger persönlich anvertraut sind, verbleibt jederzeit unserer Firma. Ohne unsere schriftliche Genehmigung dürfen sie nicht kopiert oder vervielfältigt, auch niemals dritten Parteien mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden.

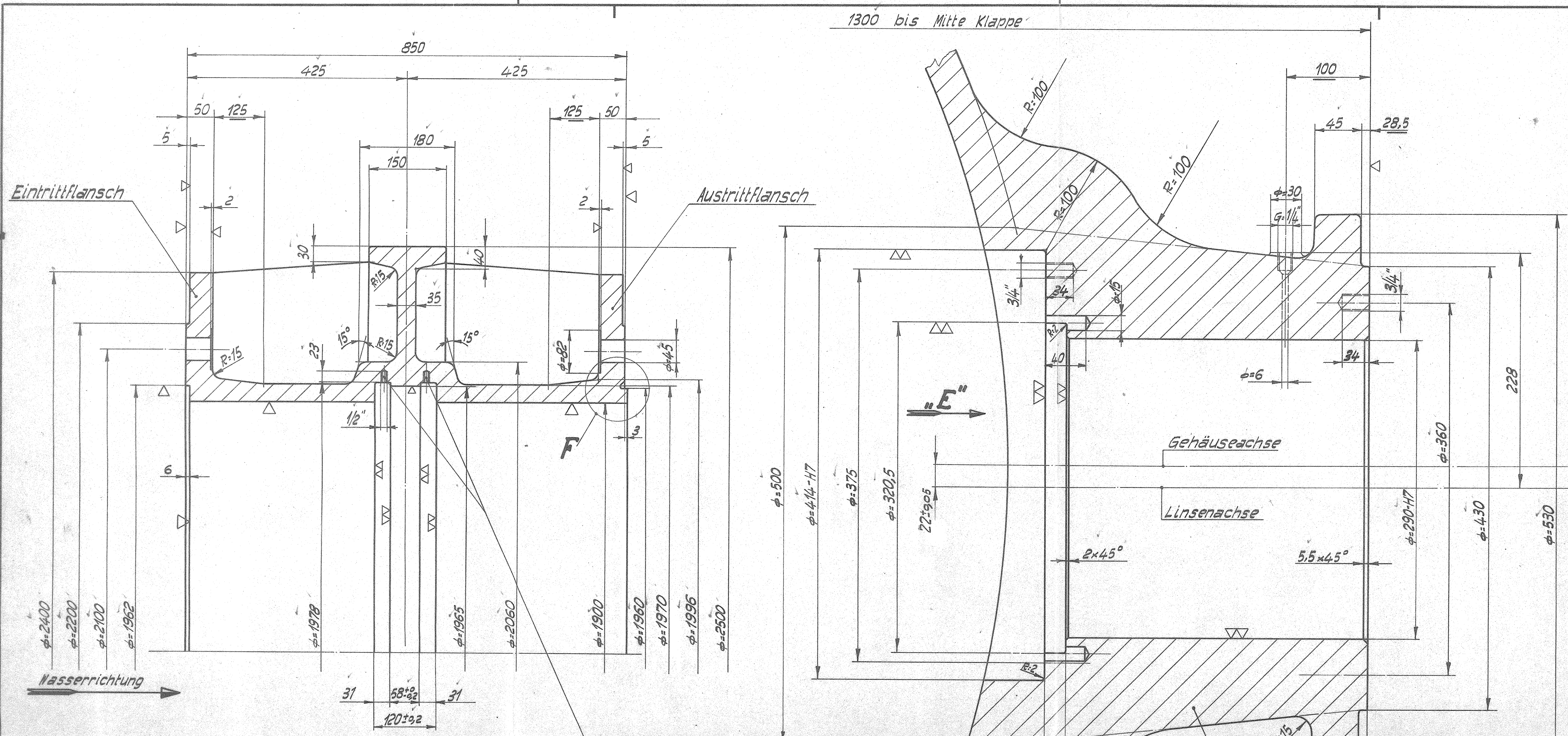
EISENWERK KLUS
Klus (Böhl)

Standort: Büro
Ordnern:
Griff:
Dokument: Ackersand II

8 Wasserpumpennippel G 1/4"	3	St			
2 Ringschrauben 2 1/2"	2	St	51.37.11	V2900	Mag.
1 Gehäuse NW 1900x850	1	Stg.	45.97	W.67775/1	
Änderung 22-4-57 Pannini					
Änderung 14-1-58 Pannini					
Autom. Rohrabschluss NW 1900mm.					
Ersatz durch Remplace par Ersatz für Remplace			Ersatz durch Remplace par Ersatz für Remplace		
Maßstab Echelle	1:2,5	Geschneid. Bestand.	3-10-56	Pannini	
	1:10	Geprüft Controllé			
Ges. der Ludw. von Roll'schen Eisenwerke A.G. Eisenwerk Klus			Abt. WG2-00062		

Zugehörige Zeichnung WG2-00063

Bearbeitungsangaben: ~ Glatte Fläche, unbearb.; 01 rotverputzt; ▽ geschruppt; ▽▽ geschliffen; ▽▽▽ feingeschliffen; 14 geschliffen nach dem Härten; 15 geschabt, tuschiert; 22 einseitiggehärtet; 23 gehärtet; 55 emailiert; S geschwält; G Gasschmelzschweißung; E Lichtbogenschweißung.

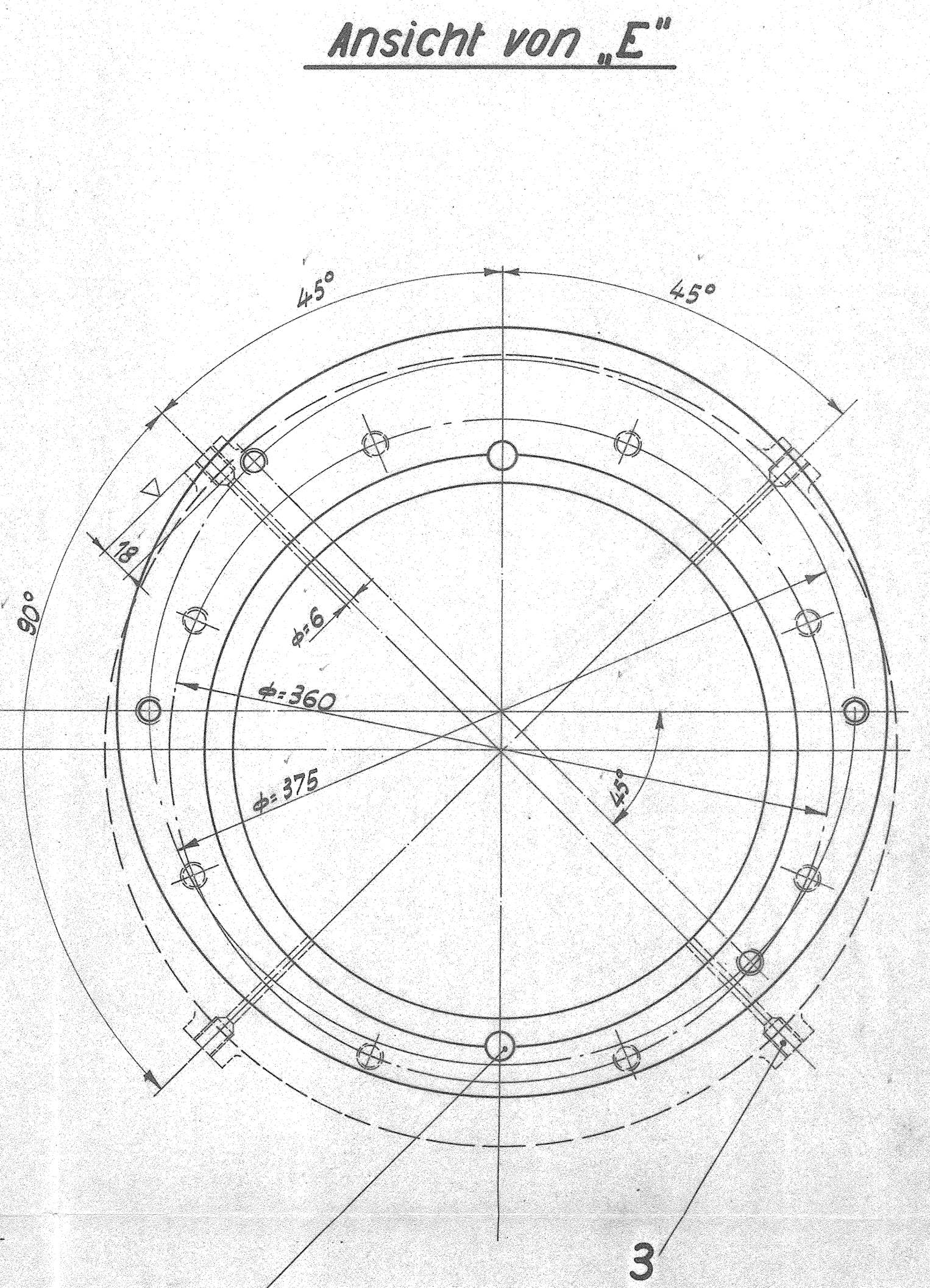
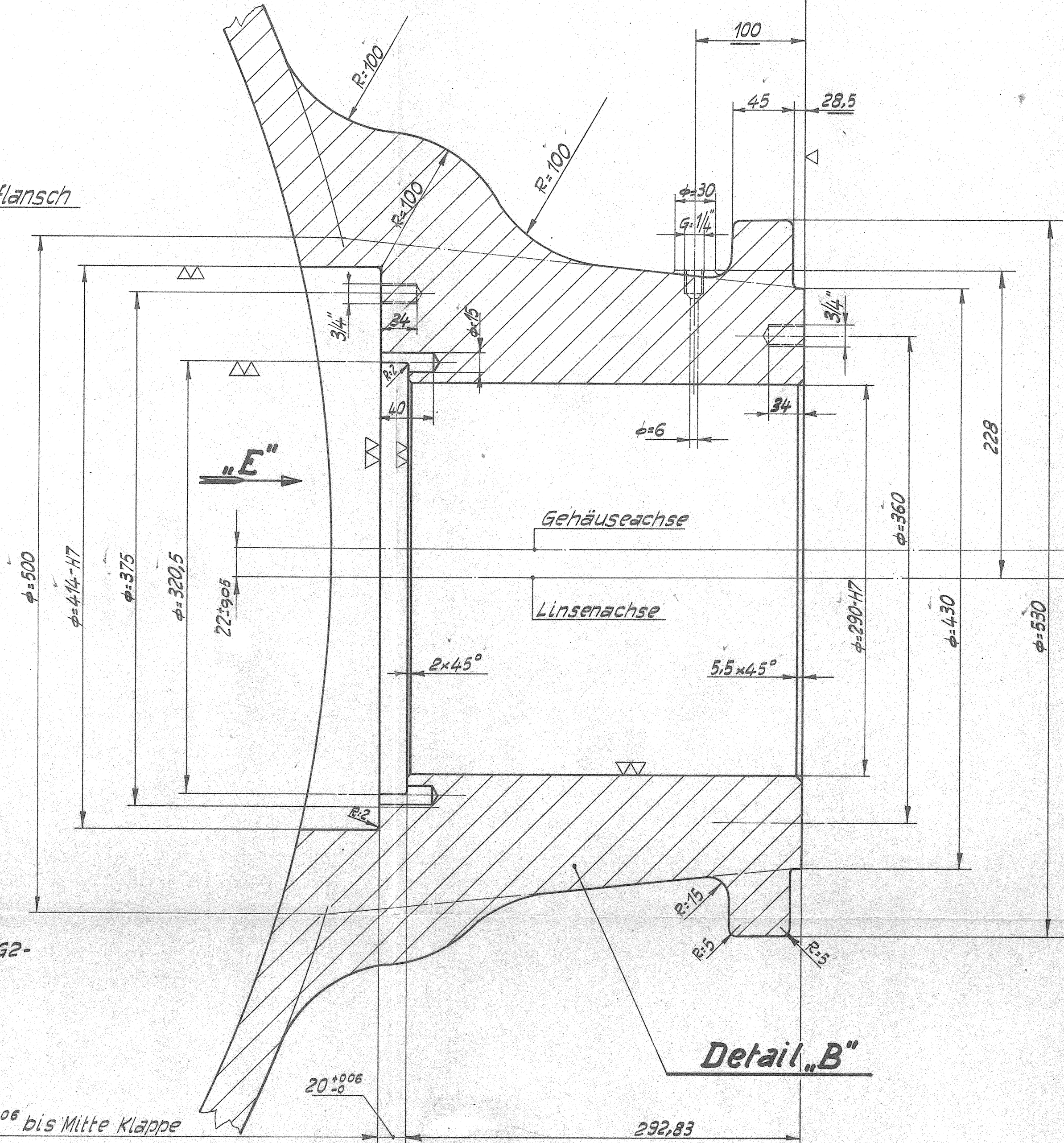


1300 bis Mitte Klappe

Eintrittflansch

Austrittflansch

Nasserrichtung



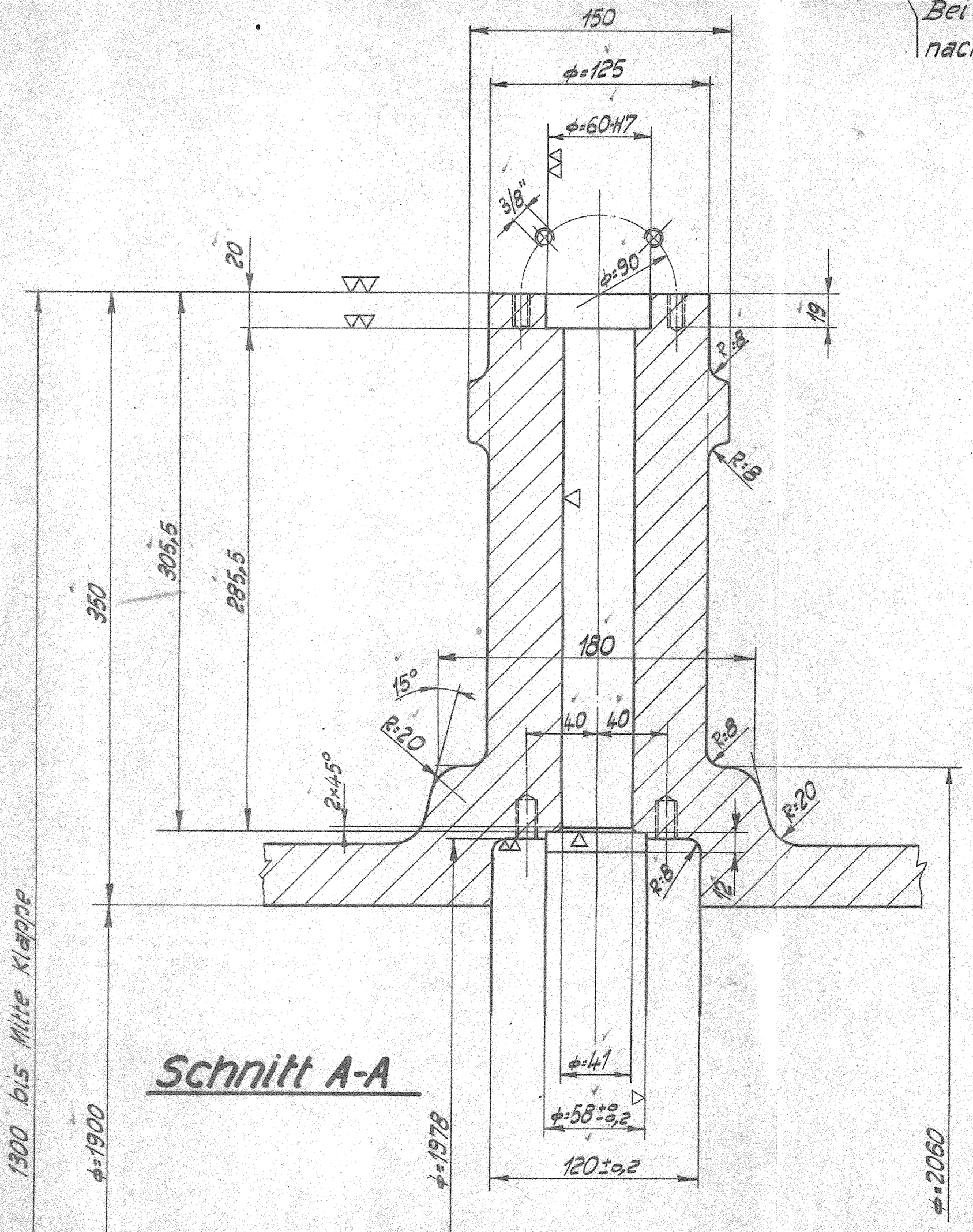
Ansicht von „E“

Bei Montage bohren nach Segmenten Z.WG2-

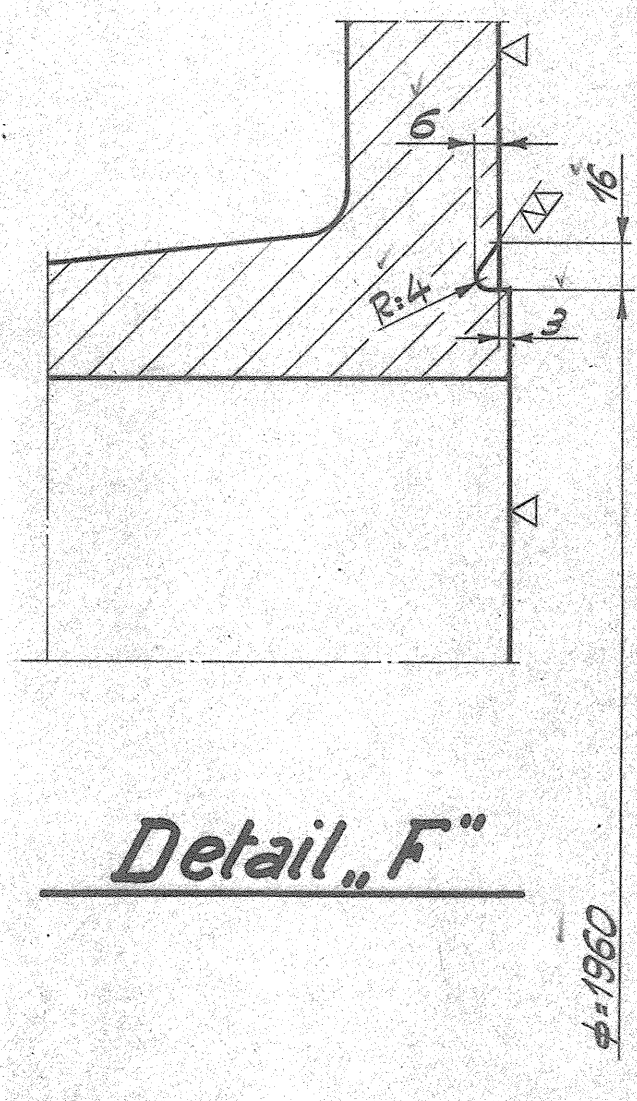
987,17^{+0,06} bis Mitte Klappe

Detail „B“

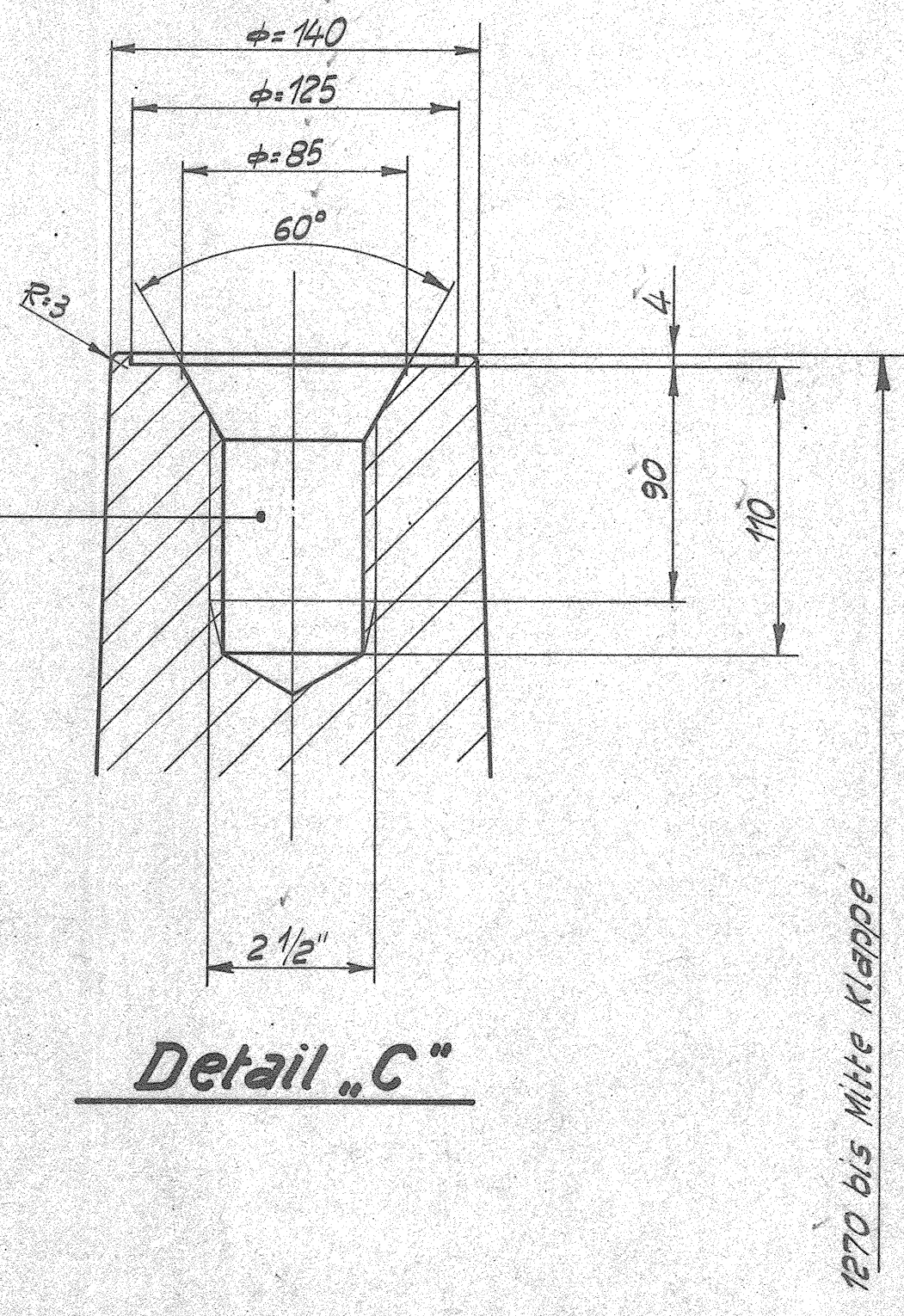
2 Löcher $\phi=15 \times 40$ mm bei Montage mit Büchsen verboren und einpassen



Schnitt A-A



Detail „F“



Detail „C“

Betriebsdruck 7 at.
 Probedruck 12 at.

Das Urheberrecht an diesen Zeichnungen liegt allen Beteiligten, die dem Empfänger persönlich ausstatten sind, verbleibt jederzeit in unserer Firma. Ohne unsere schriftliche Genehmigung dürfen sie nicht kopiert oder vervielfältigt, auch mittels moderner Verfahren mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden.
 EISENWERK KLUS
 Klus (Sol)

Zugehörige Zeichnung WG2-00062

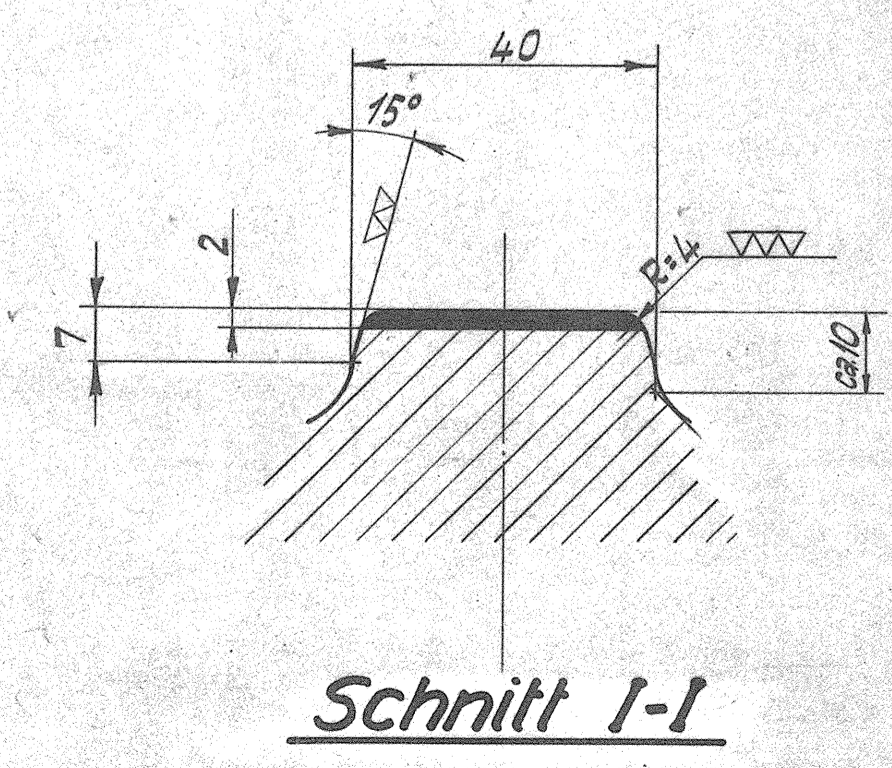
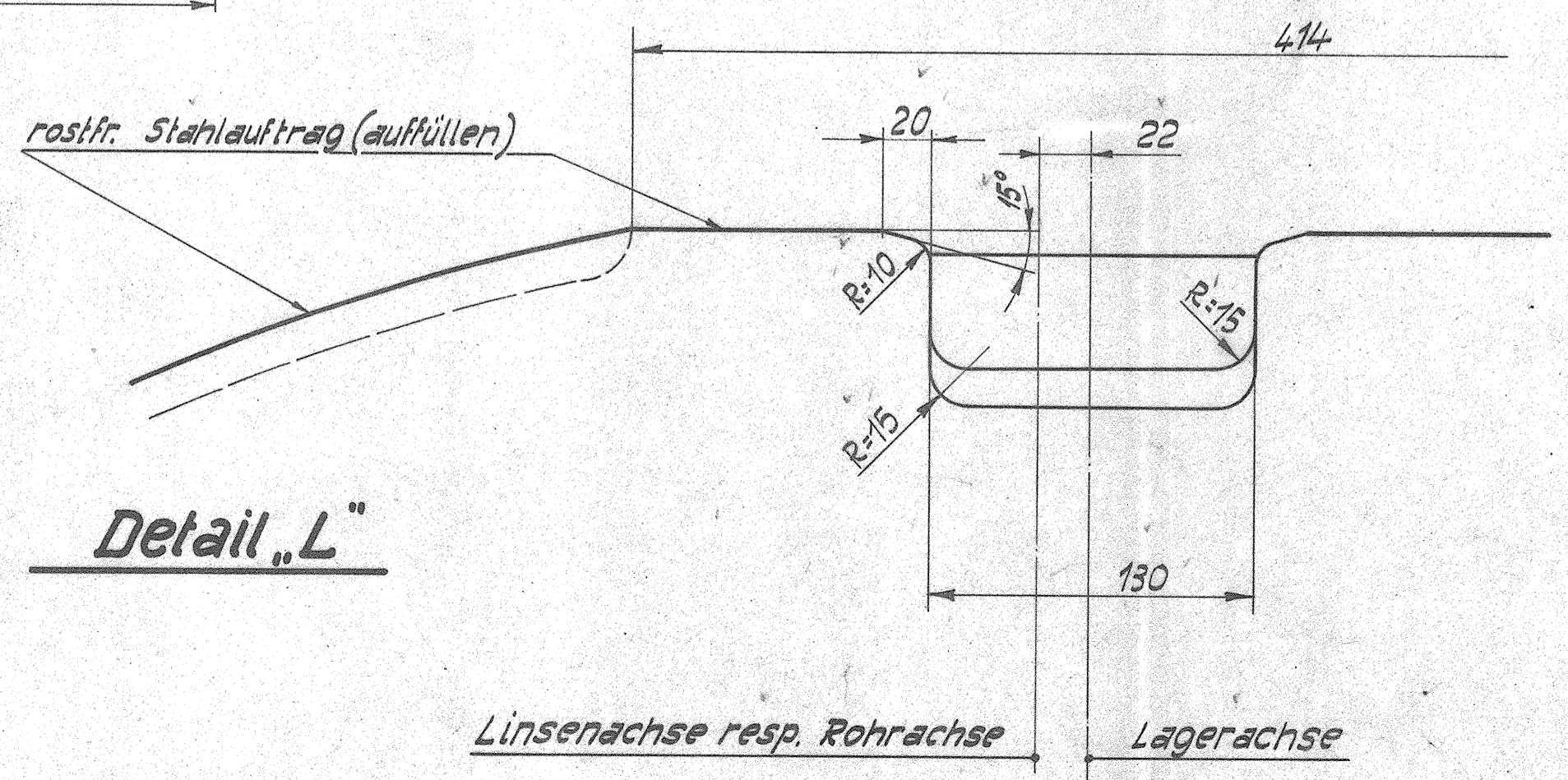
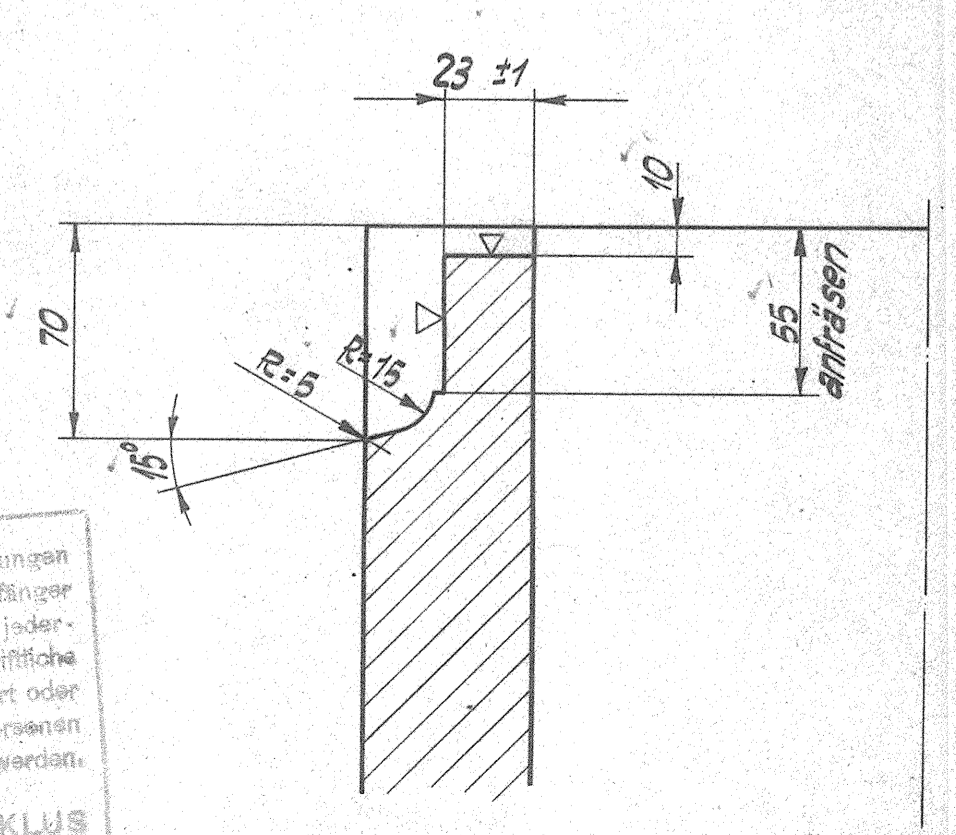
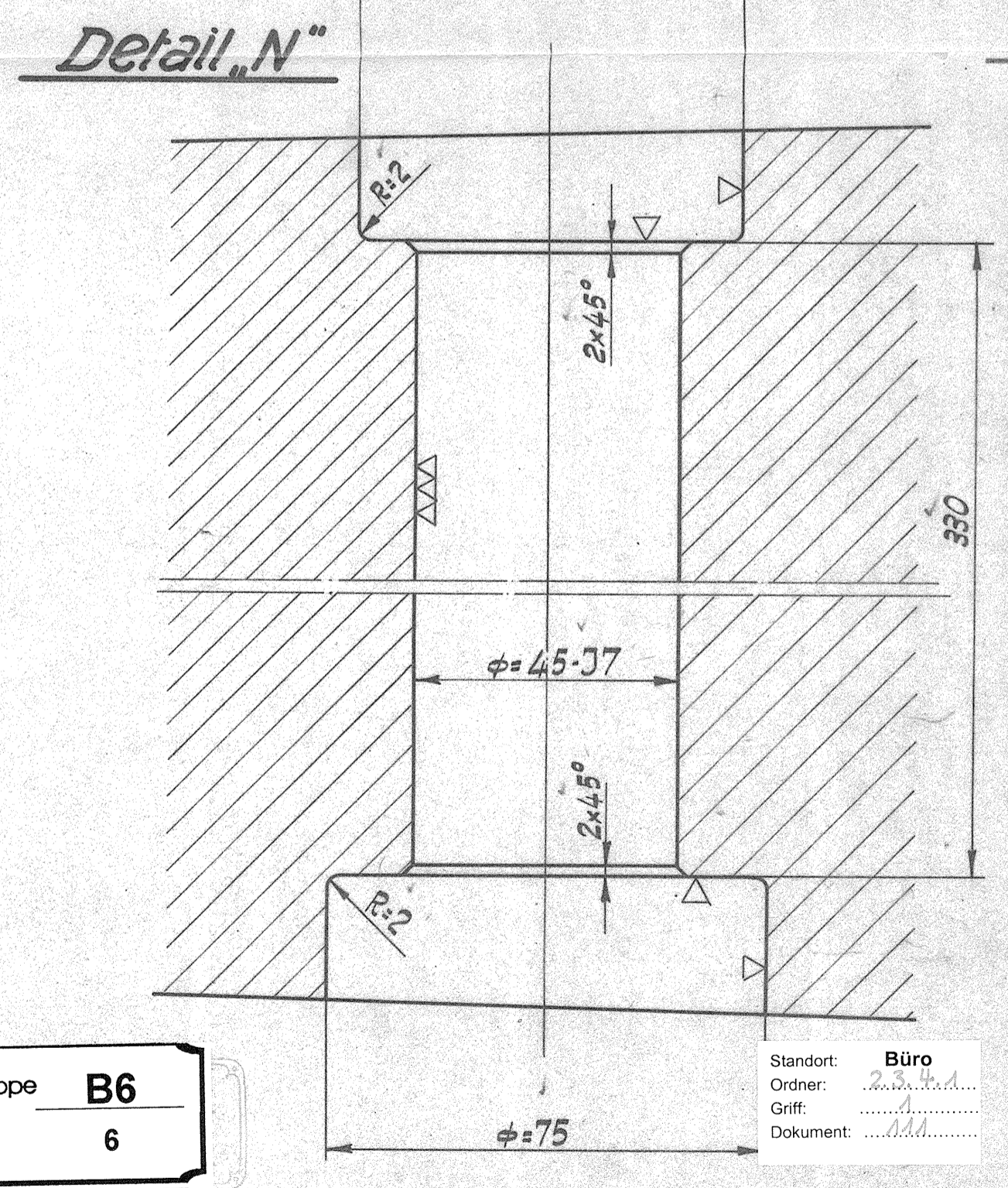
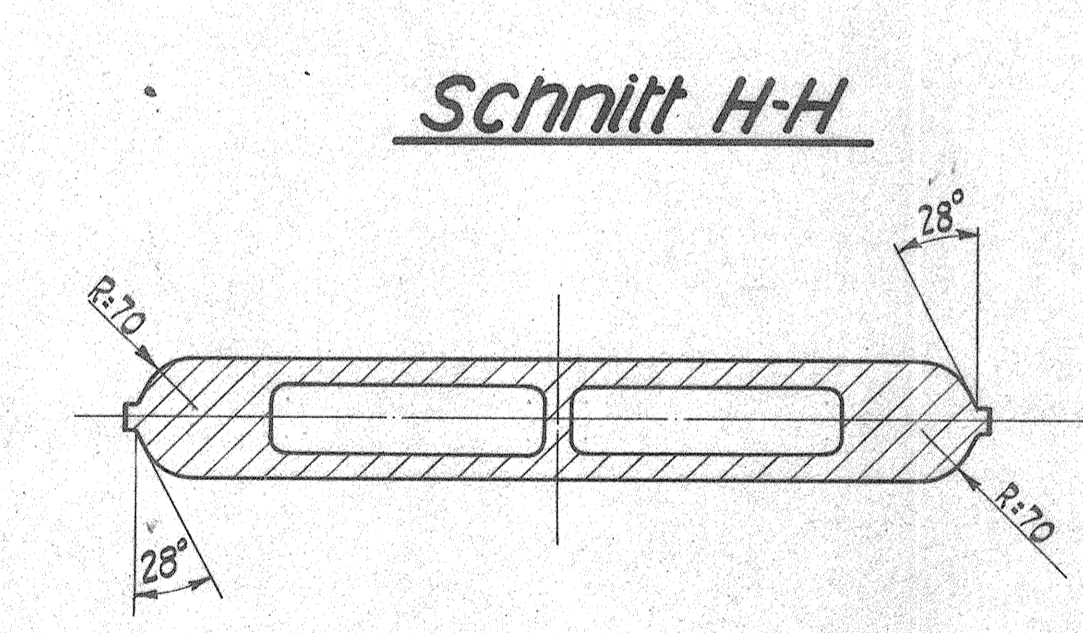
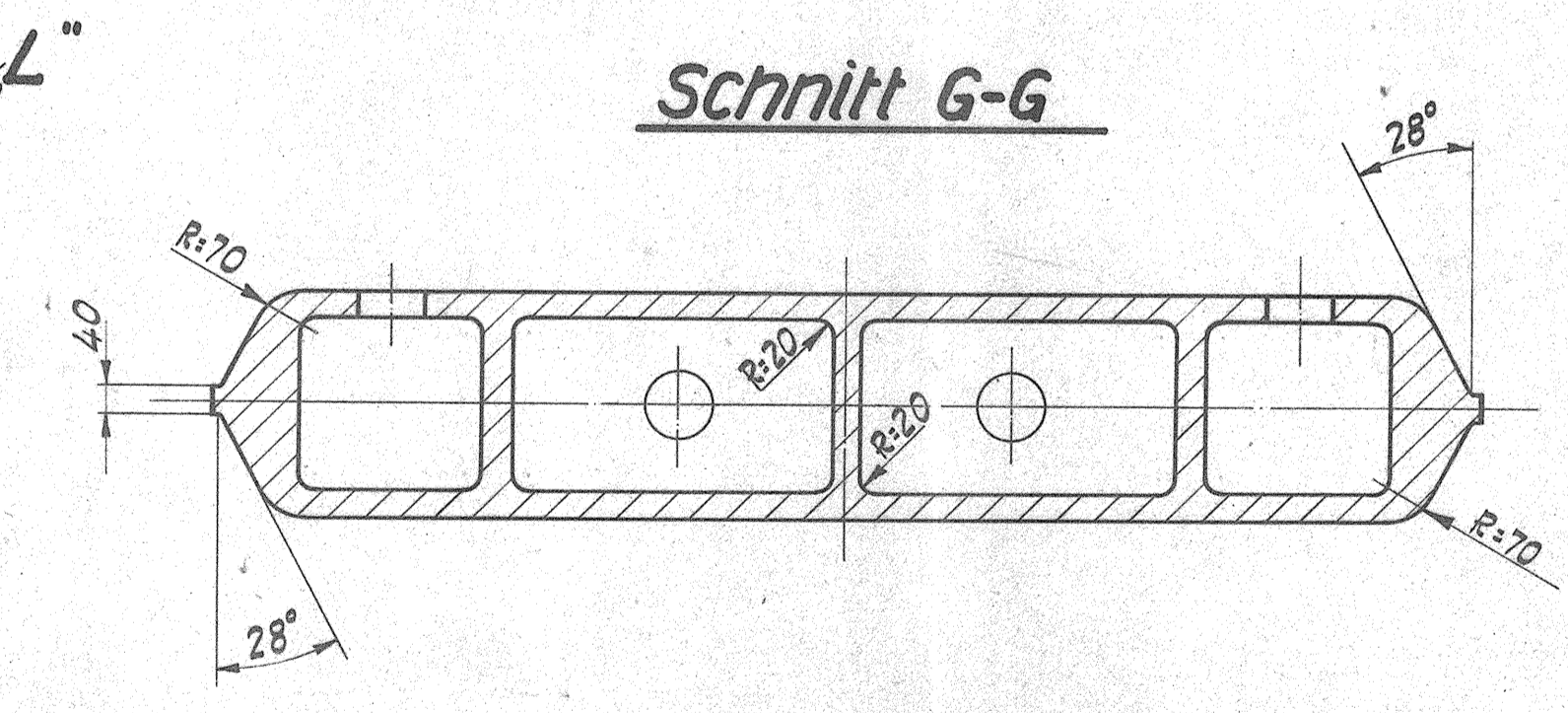
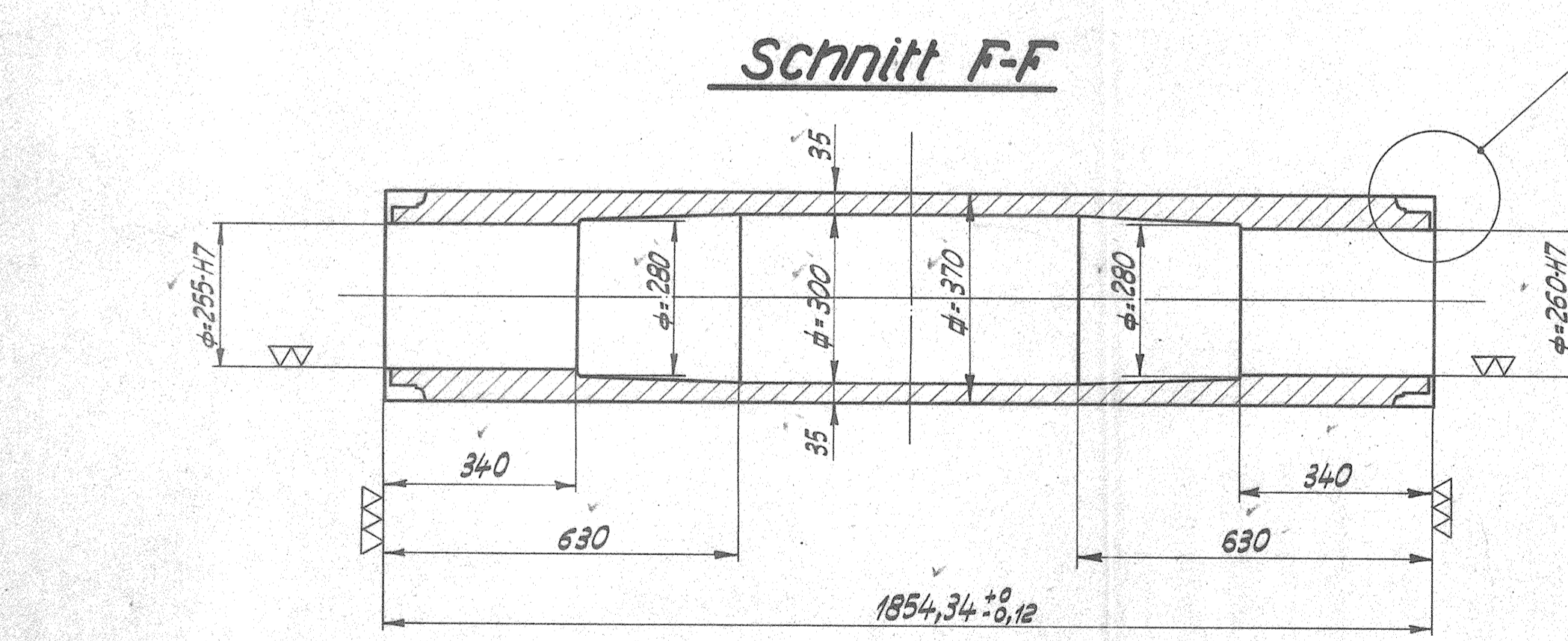
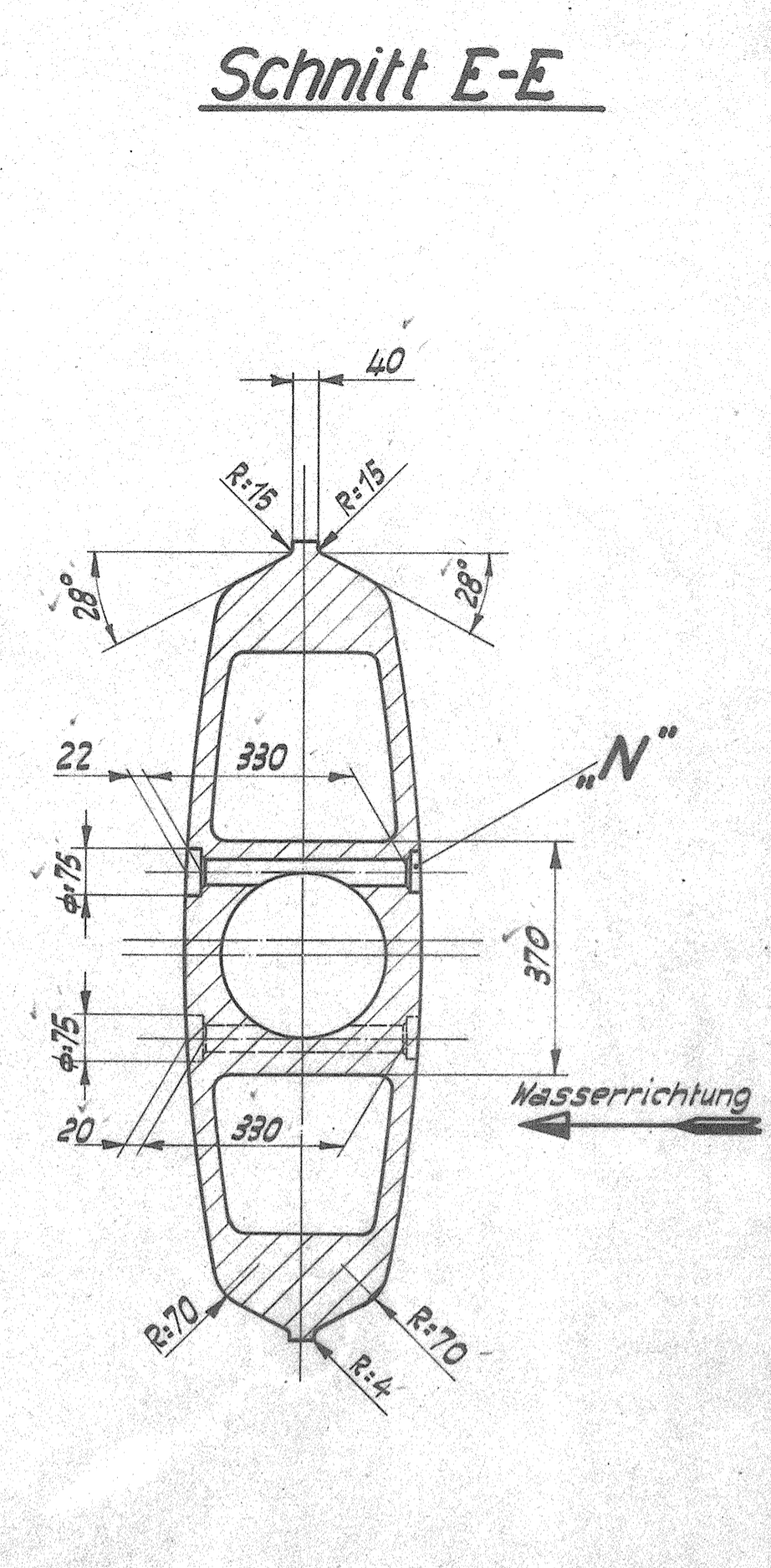
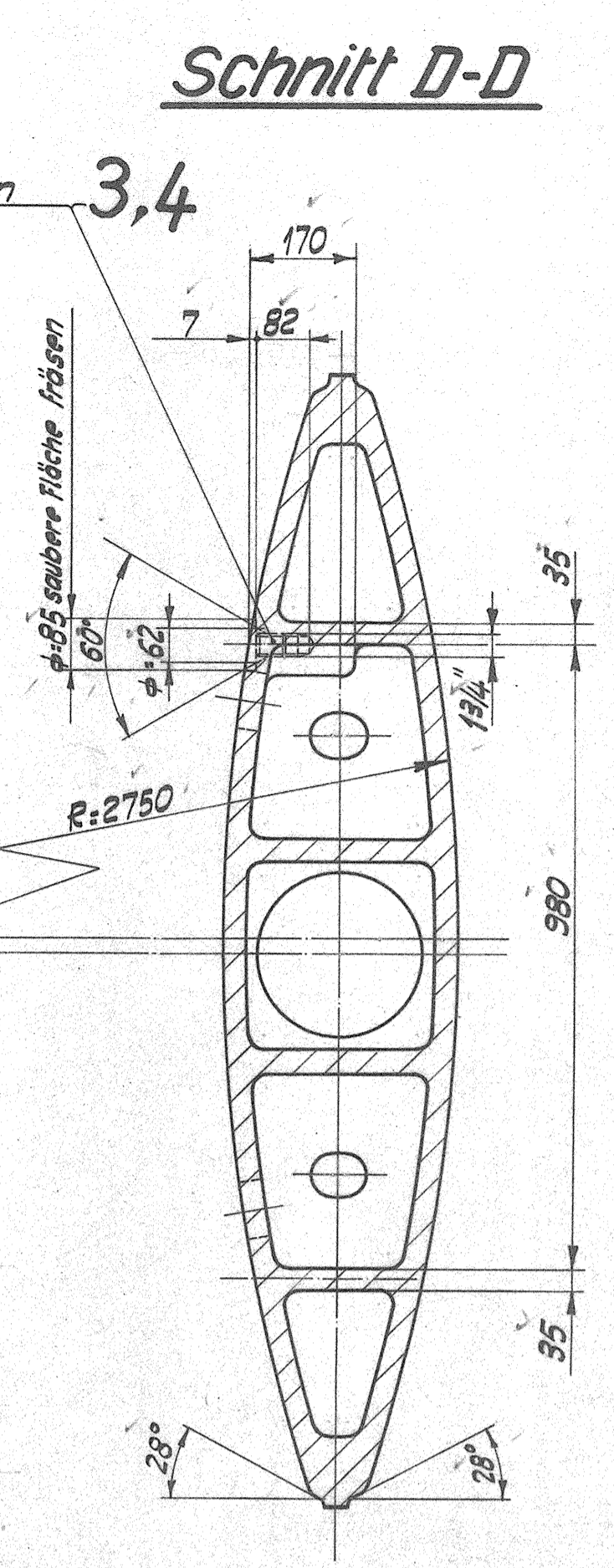
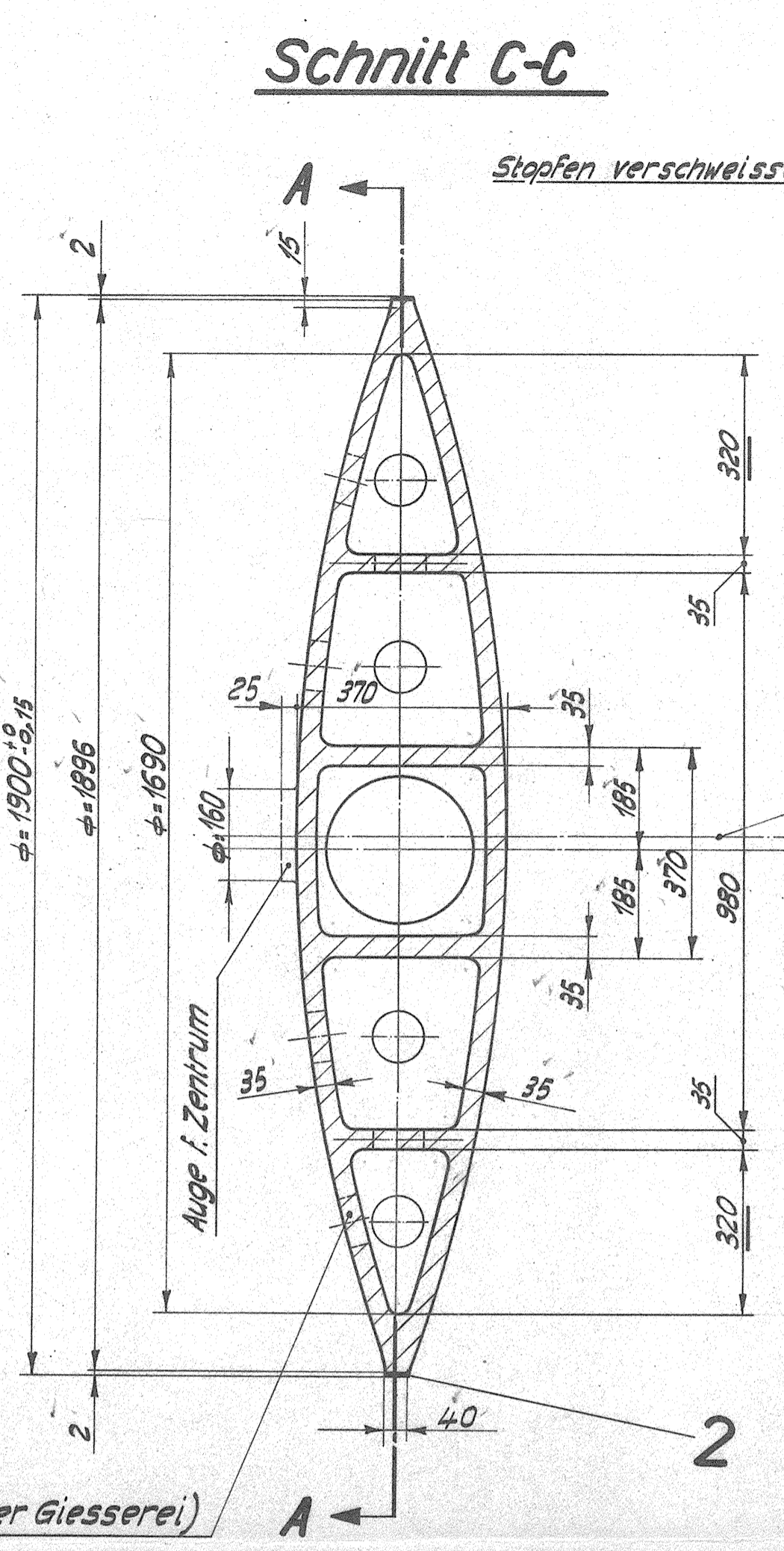
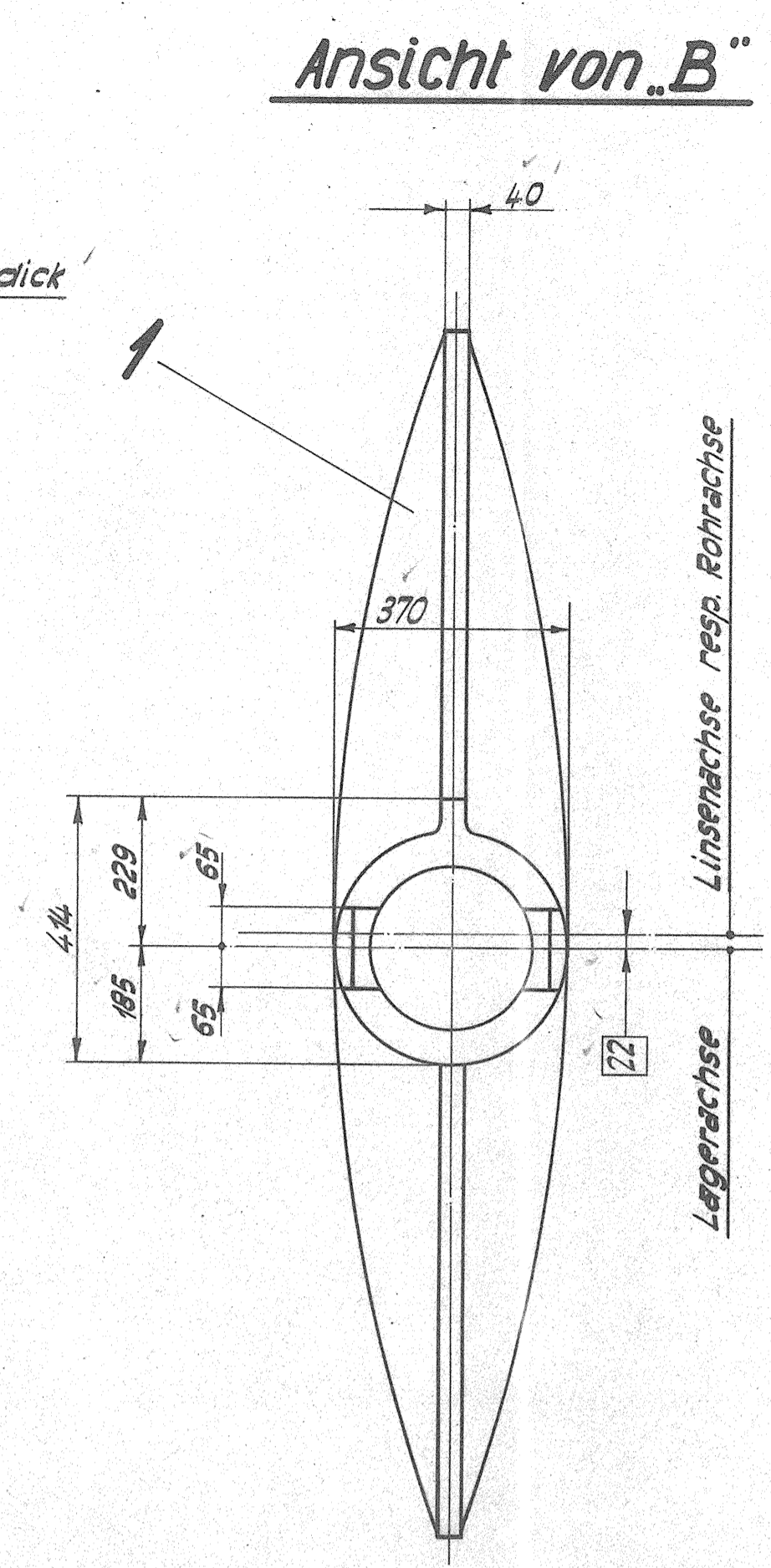
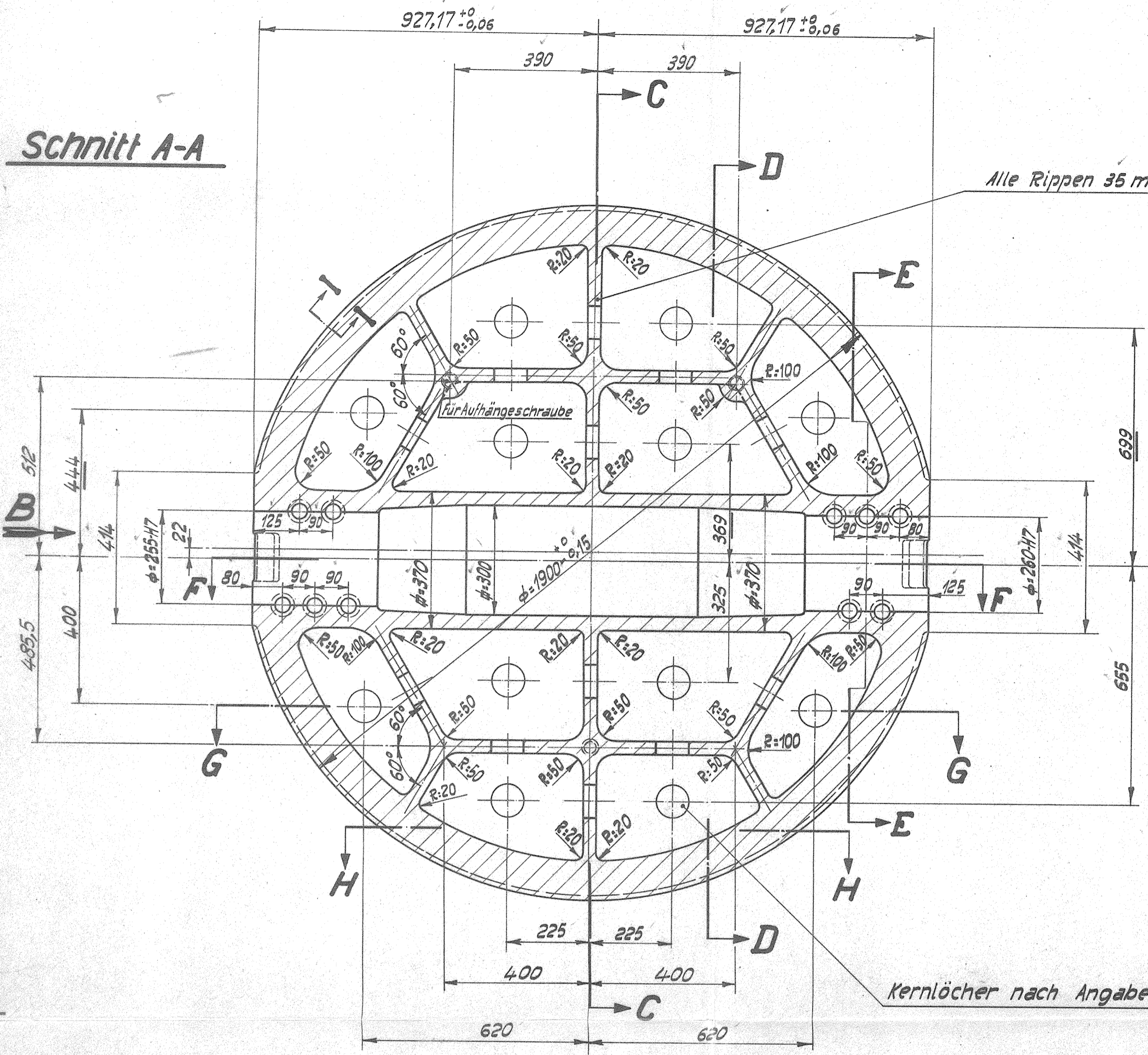
Mappe **B6**
 Nr. 5

Standort: **Büro**
 Ordner:
 Griff:
 Dokument:

Ackersand II

Stk. zahl	Gegenstand Specification	Pos. Rep.	Werkstoff Matière	Modell Modèles	Bemerkungen Observations
Ersetzt durch Replacé par Ersatz für Remplace 5					
Autom. Rohrabschluss NW 1900 mm. Schnitt und Detail			Maßstab Echelle 1:25 1:5	Gezeichnet Dessiné 5-10-56 Geprüft Contrôlé 1 Genehmigt Approuvé	Bemerkungen Observations Bänder
Ges. der Ludw. von Rol'schen Eisenwerke A.G. Eisenwerk Klus					Abt. WG WG2-00063

Bearbeitungsangaben: ~ Glatte Fläche, unbes. (1) rohverputzt; ▽ geschruppt; ▽▽ geschliffen; ▽▽▽ feinsgeschliffen; (14) geschliffen nach dem Härten; (15) geschabt, tuschiert; (22) elosatzgehärtet; (23) gehärtet; (56) emailiert; S geschwächt; G Gasschmelzschweißung; E Lichtbogenschweißung.



Das Urheberrecht an diesen Zeichnungen und allen Teilen, die dem Empfänger persönlich anvertraut sind, verbleibt jederzeit unserer Firma. Ohne unsere schriftliche Genehmigung dürfen sie nicht kopiert oder vervielfältigt, auch teilweise, an Dritte weitergegeben oder zugänglich gemacht werden.

EISENWERK KLUS
Klus (Sol)

Mappe **B6**
Nr. **6**

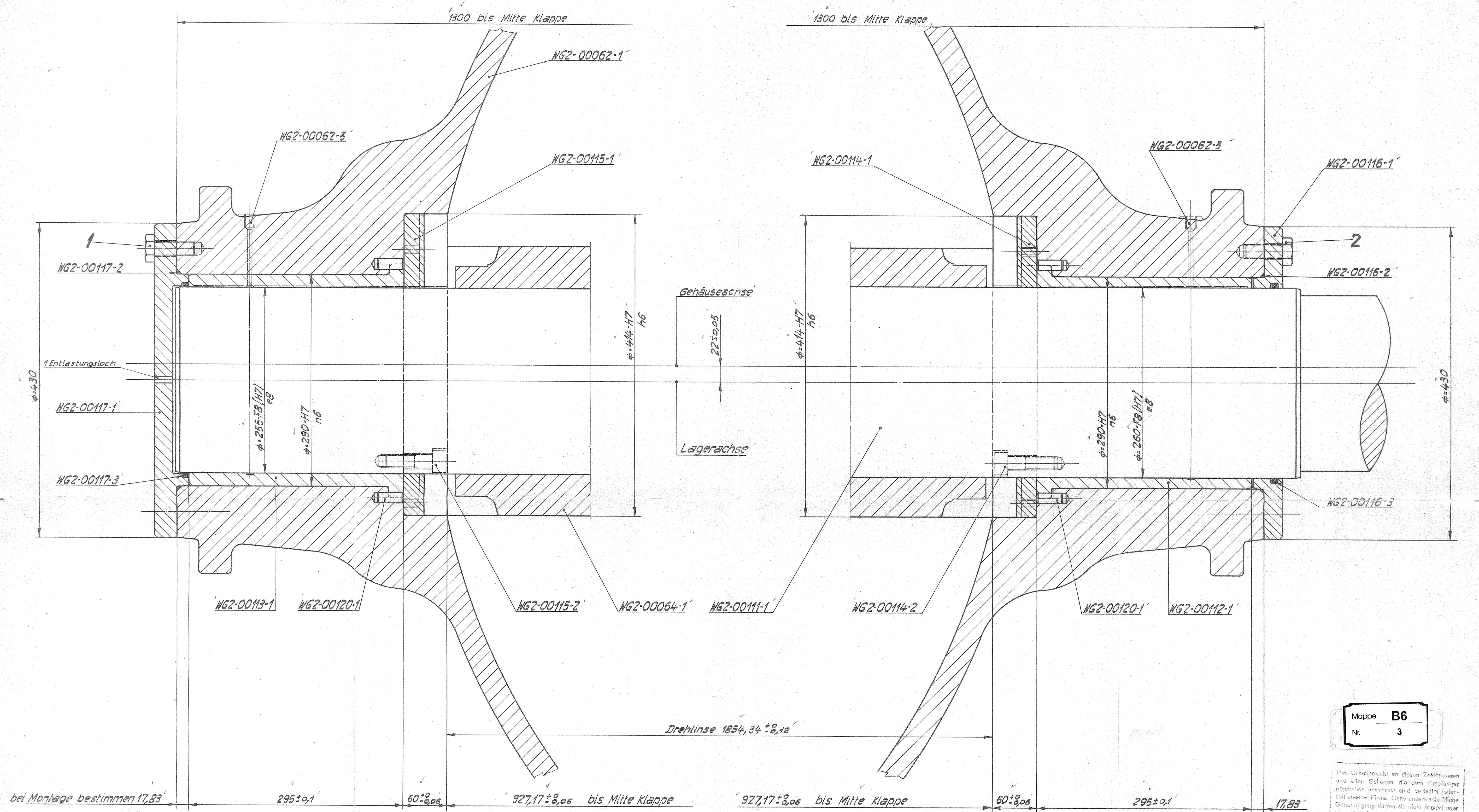
Stk. zahl	Gegenstand Specification	Pos. Rep.	Werkstoff Matéria	ISM	Modell Modelle	Bemerkungen Observations
4	Gen. Stoßen 13/4" x 45	51.37.12				
3	Ringschraube 1 3/4"	51.00.13	12900			Mag
2	rostfr. Stahlauftrag 2mm dick	110x 18/8				
1	Drehlinse	51g.45/97			W.61776/1	

Ersetzt durch Remplacé par Ersatz für Remplace

Automat. Rohrabschluss NW1900mm
Drehlinse

Ges. der Ludw. von Roll'schen Eisenwerke A.G.
Eisenwerk Klus

Abt. WG **WG2-00064**



Mappe **B6**
Nr. **3**

Das Urheberrecht an diesen Zeichnungen und allen Belegen, die dem Empfänger persönlich anvertraut sind, verbleibt jederzeit unserer Firma. Ohne unsere schriftliche Genehmigung dürfen sie nicht kopiert oder vervielfältigt, auch niemals dritten Personen mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden.

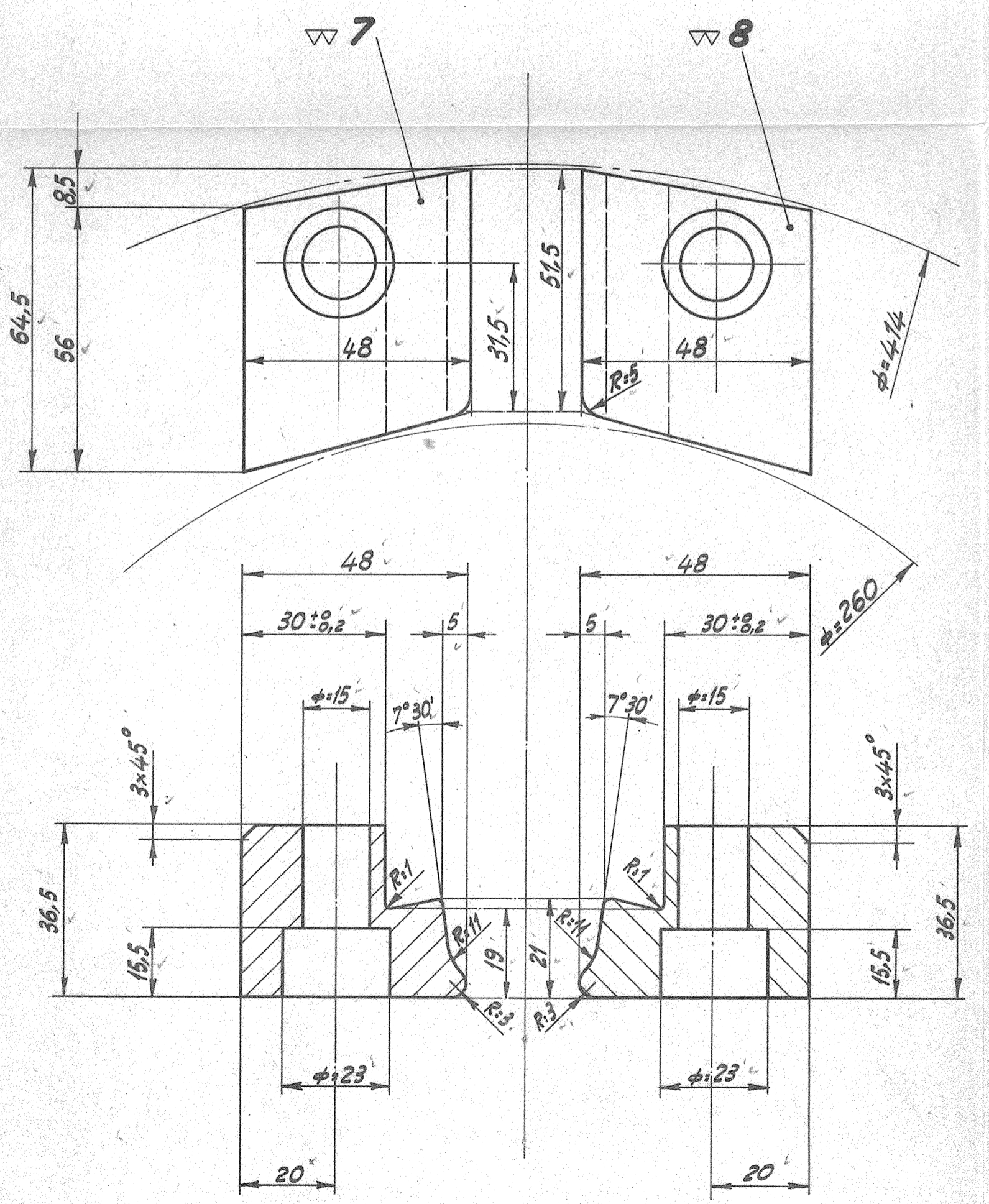
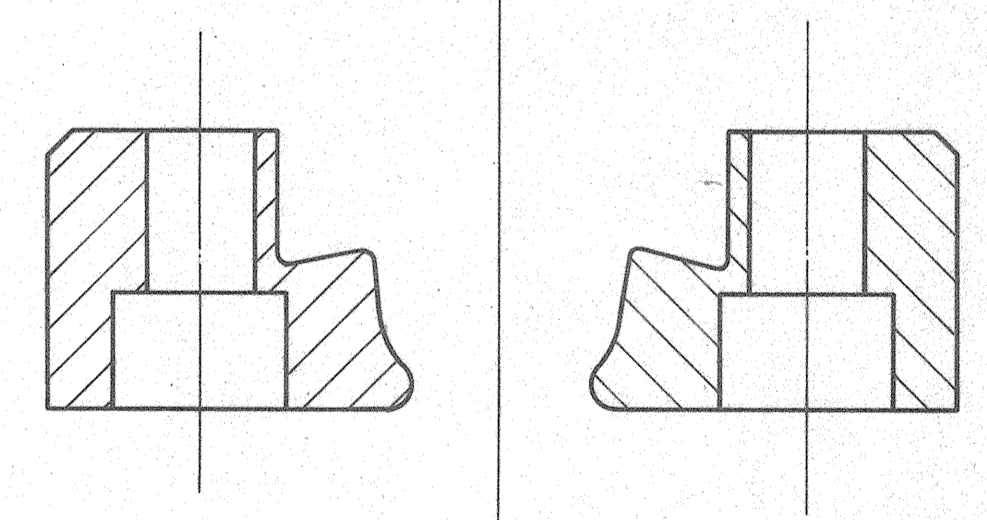
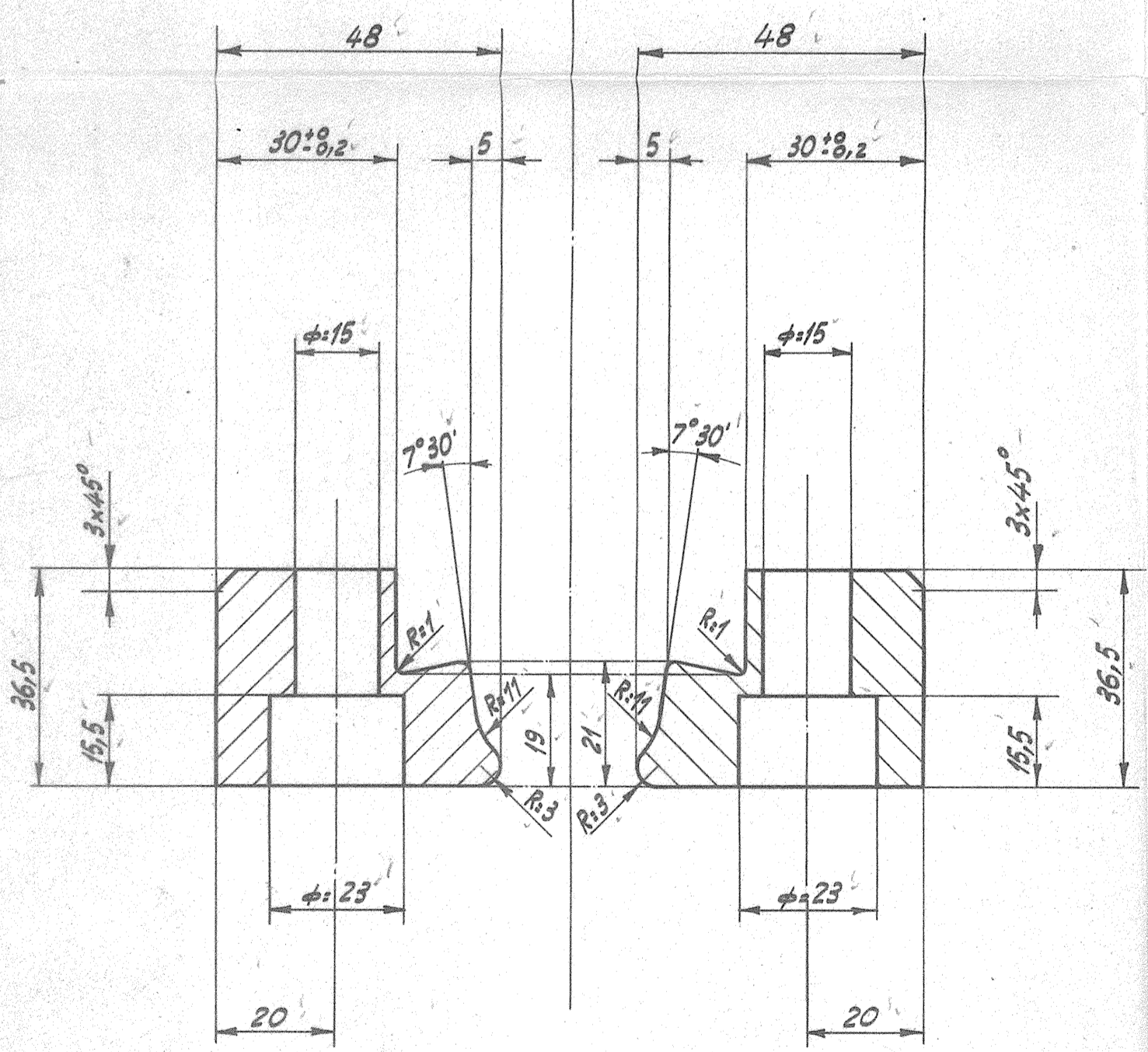
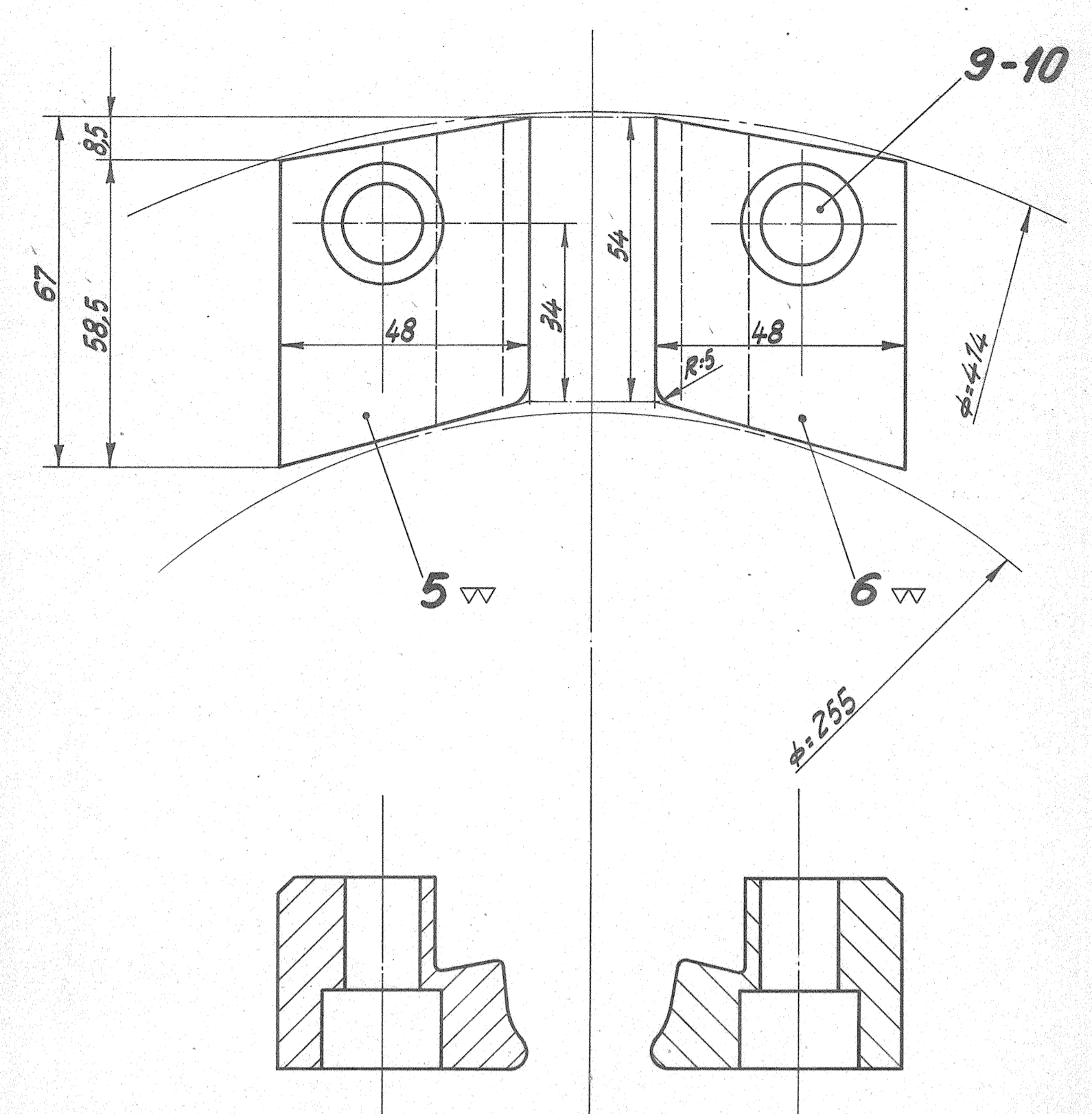
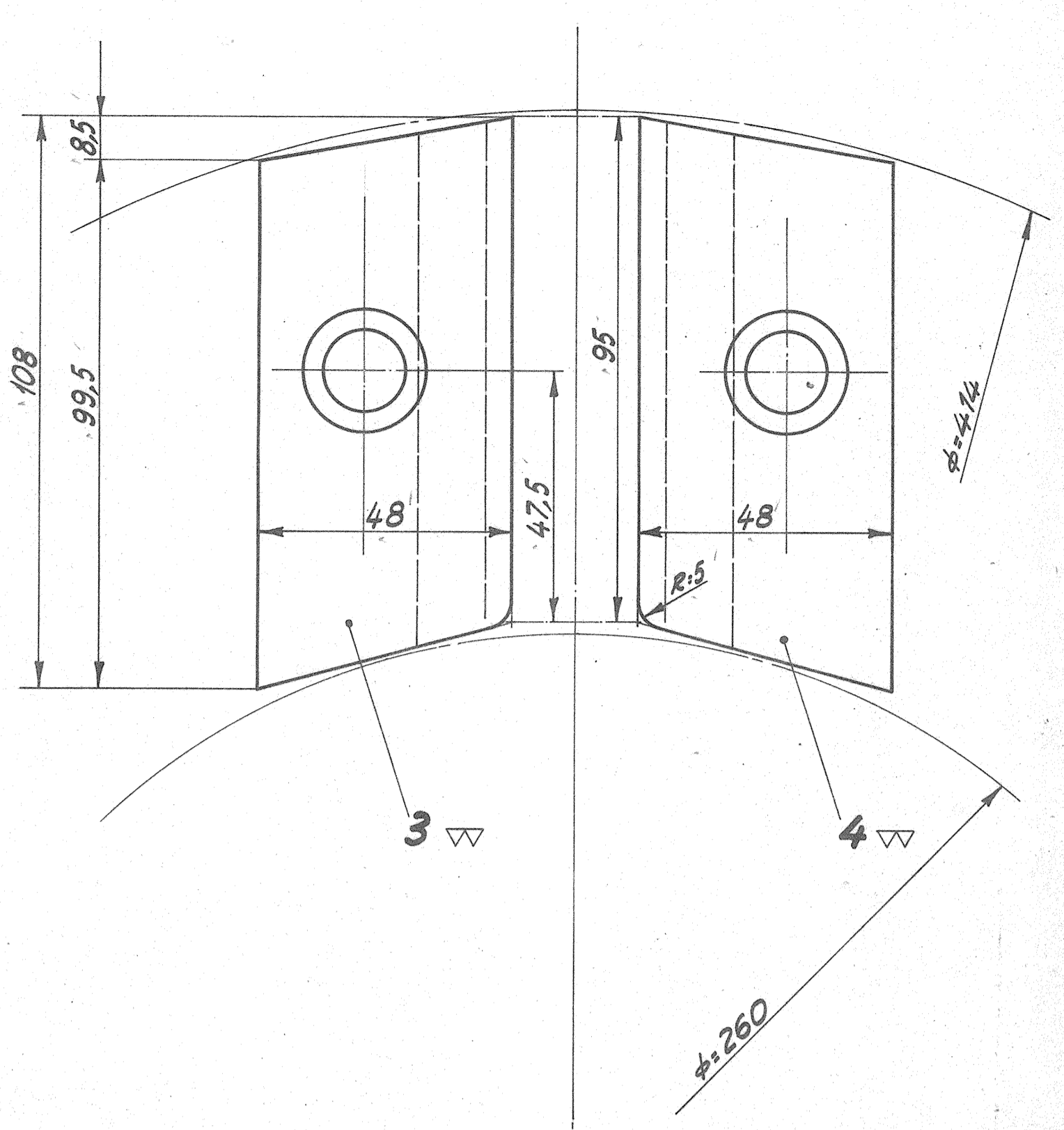
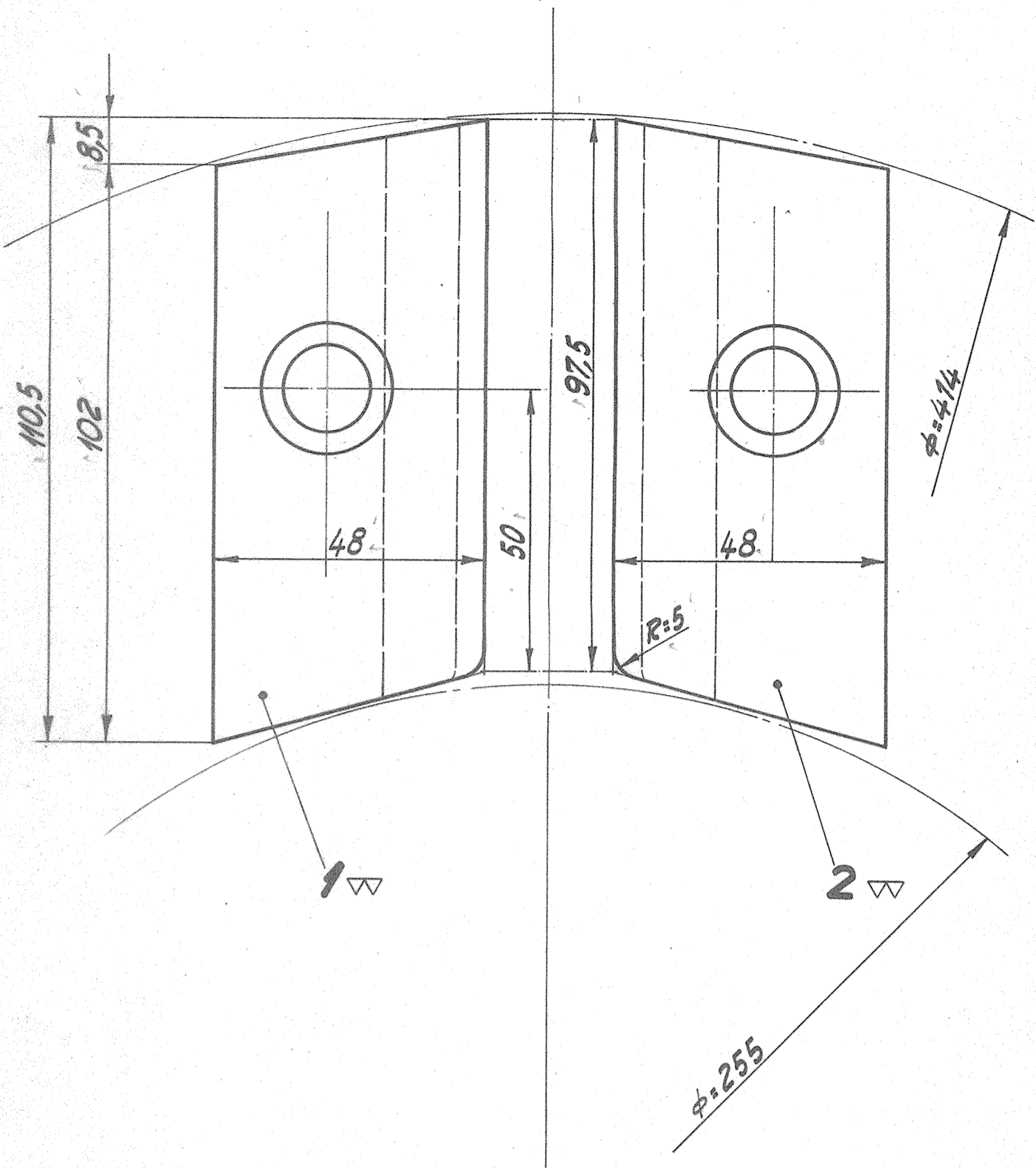
EISENWERK KLUS
Klus (Sol.)

Standort: Büro
Ordnern:
Griff:
Datum:

Ackersand II

8	b. 6kt. Schrauben 3/4x50	2	51 0013	12360	Mag.
8	bl. 6kt. Schrauben 3/4x50	1	51 0013	12360	Mag.
Stk-zahl	Gegenstand Specification	Pos. Rep.	Werkstoff Methode	Modell Modèle	Bemerkungen Observations
Änderungs: 14.5.57 <i>Bonnain</i>					
Automat. Rohrabschluss NW1900mm Lagerung				3	Ersetzt durch Remplacé par Ersatz für Remplace
Ges. der Ludw. von Rol'schen Eisenwerke A.G. Eisenwerk Klus				1:2,5	18-1-57 <i>Bonnain</i>
AWG WG2-00110					

Einbaudruck 7 at.
Probendruck 12 at.



Das Urheberrecht an diesen Zeichnungen und allen Beilagen, die dem Empfänger berechnlich anvertraut sind, verbleibt jederzeit unserer Firma. Ohne unsere schriftliche Genehmigung dürfen sie nicht kopiert oder vervielfältigt, auch niemals dritten Personen mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden.

EISENWERK KLUS
Klus (S) Standort: Büro
Ordner:
Griff:
Dokument: 1122

Mappe **B6**
Nr. 15

Stk. zahl	Gegenstand Specification	Pos. Rep.	Werkstoff Matériau	Modell Modèle	Bemerkungen Observations
8	Federring B 13,5	10	Fed. St.	12740	Mag.
8	Zylinderschraube 1/2" x 40/30	9	St. rostfrei	12781	Kausw.
1	Befestigung 48/36,5 x 64,5	8	Inox 14-17Cr		
1	Befestigung 48/36,5 x 64,5	7	"		
1	Befestigung 48/36,5 x 67	6	"		
1	Befestigung 48/36,5 x 67	5	"		an einem Stück bearbeiten
1	Befestigung 48/36,5 x 108	4	"		total Länge: 760
1	Befestigung 48/36,5 x 108	3	"		
1	Befestigung 48/36,5 x 110,5	2	"		
1	Befestigung 48/36,5 x 110,5	1	Inox 14-17Cr		

15 Ersetzt durch
Remplace par
Ersetzt für
Remplace

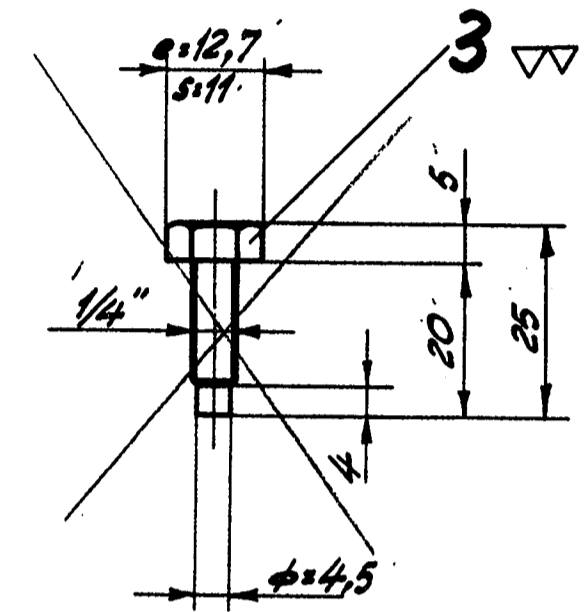
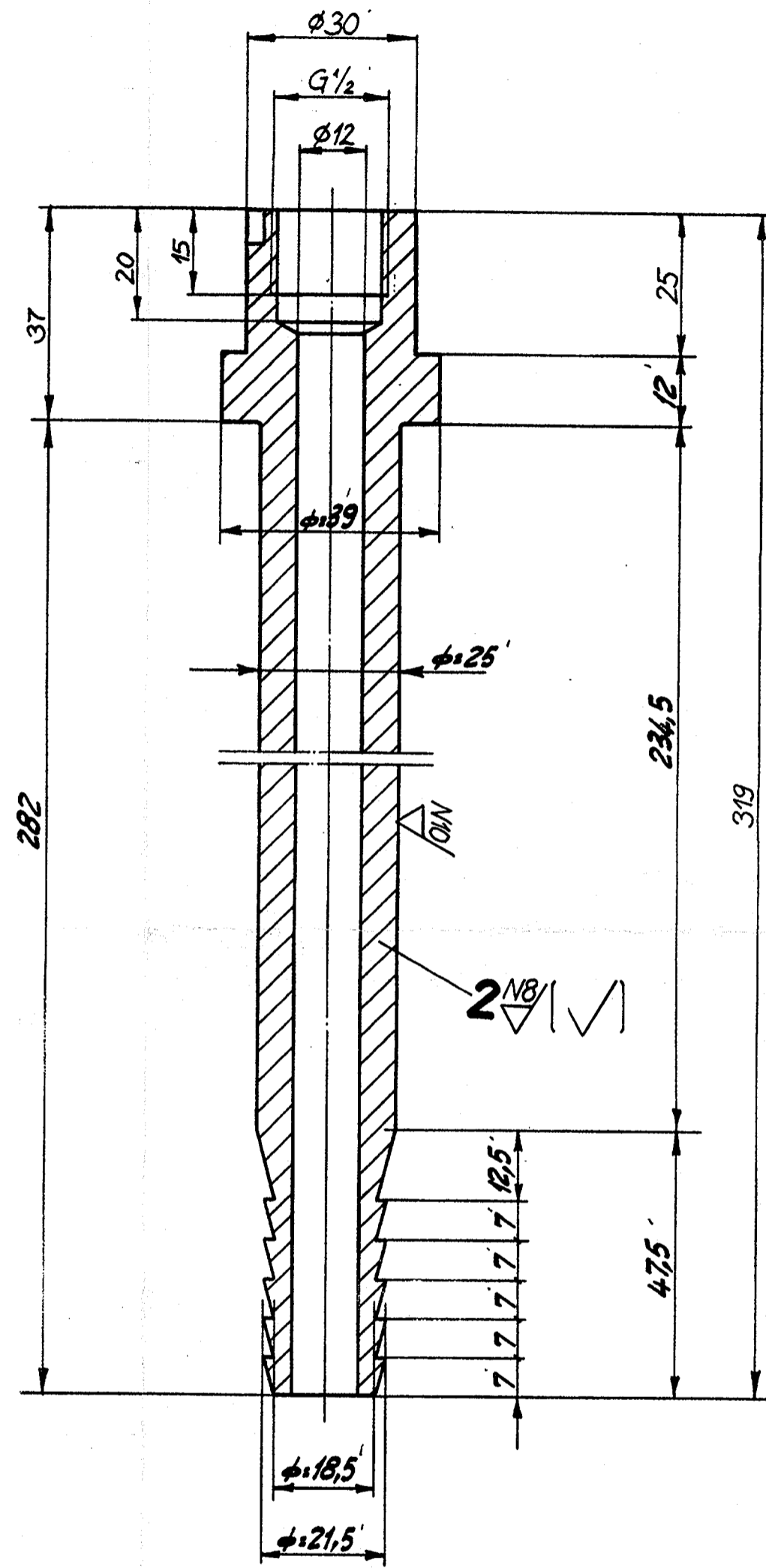
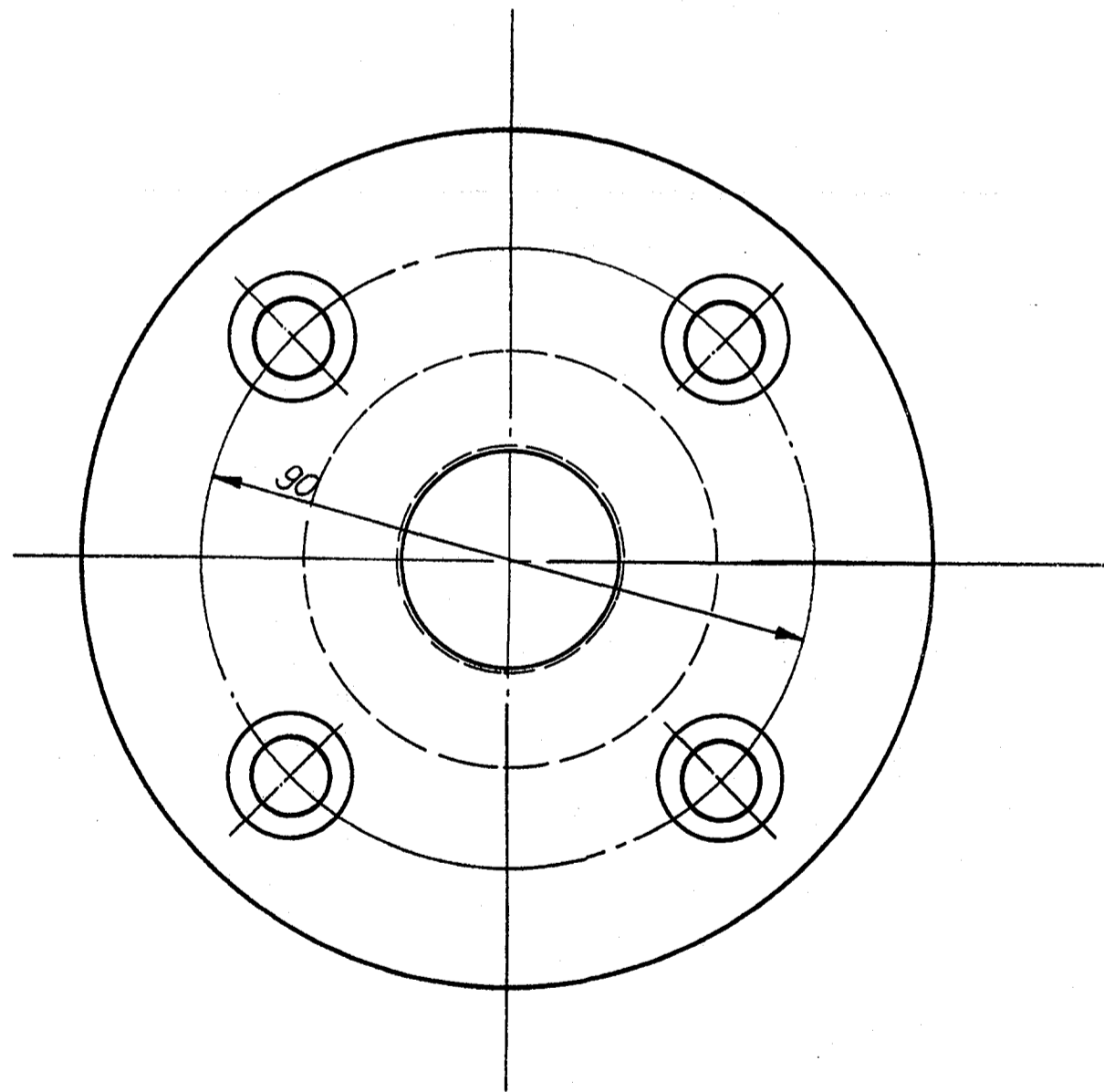
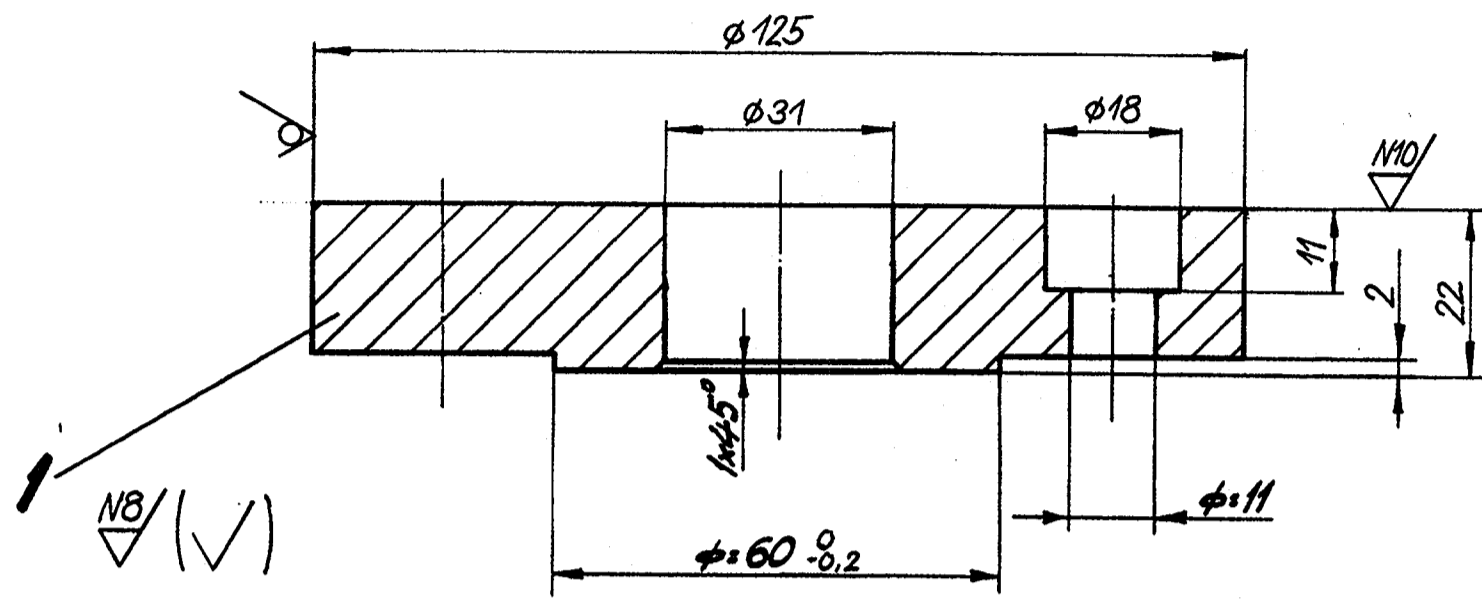
Automat. Rohrabchluss 1900 NW.
Befestigungen
1:1

Ges. der Ludw. von Roll'schen Eisenwerke A.G.
Eisenwerk Klus
Abt. 16

Maßstab
Echelle
Gezeichnet
Dessiné
Geprüft
Contrôlé
Gelesen
Vu

22-2-57 (Revisions)
16

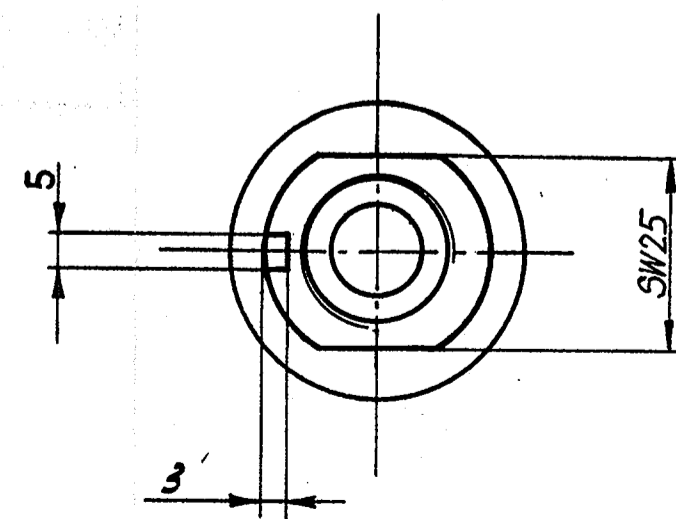
WG2-00152



Standort: Büro
 Ordner: 2.3.11.1
 Grift: 1
 Dokument: 124

Mappe B6
 Nr. 16

Revision 2000:
 -Pos.1 neu hergestellt
 -Pos.2 gekürzt auf 319mm, Gewinde G1/2" x 15 gebohrt.
 -Pos.3 wird nicht mehr benötigt.



Ackersand II

Stk. zahl	Gegenstand Specification	Pos. Rep.	Werkstoff Matière	Modell Modelle	Bemerkungen Observations
2	Gkt. Schrauben 1/4"	3	Ms		
2	Anschluss	2	Ms		
2	Flansch	1	1.4301	F. Gew. 1,7kg	ab Rugel

Index A: 11.10.2000 P.1.L

Ersatz durch
 Remplacé par
 Ersatz für
 Remplace

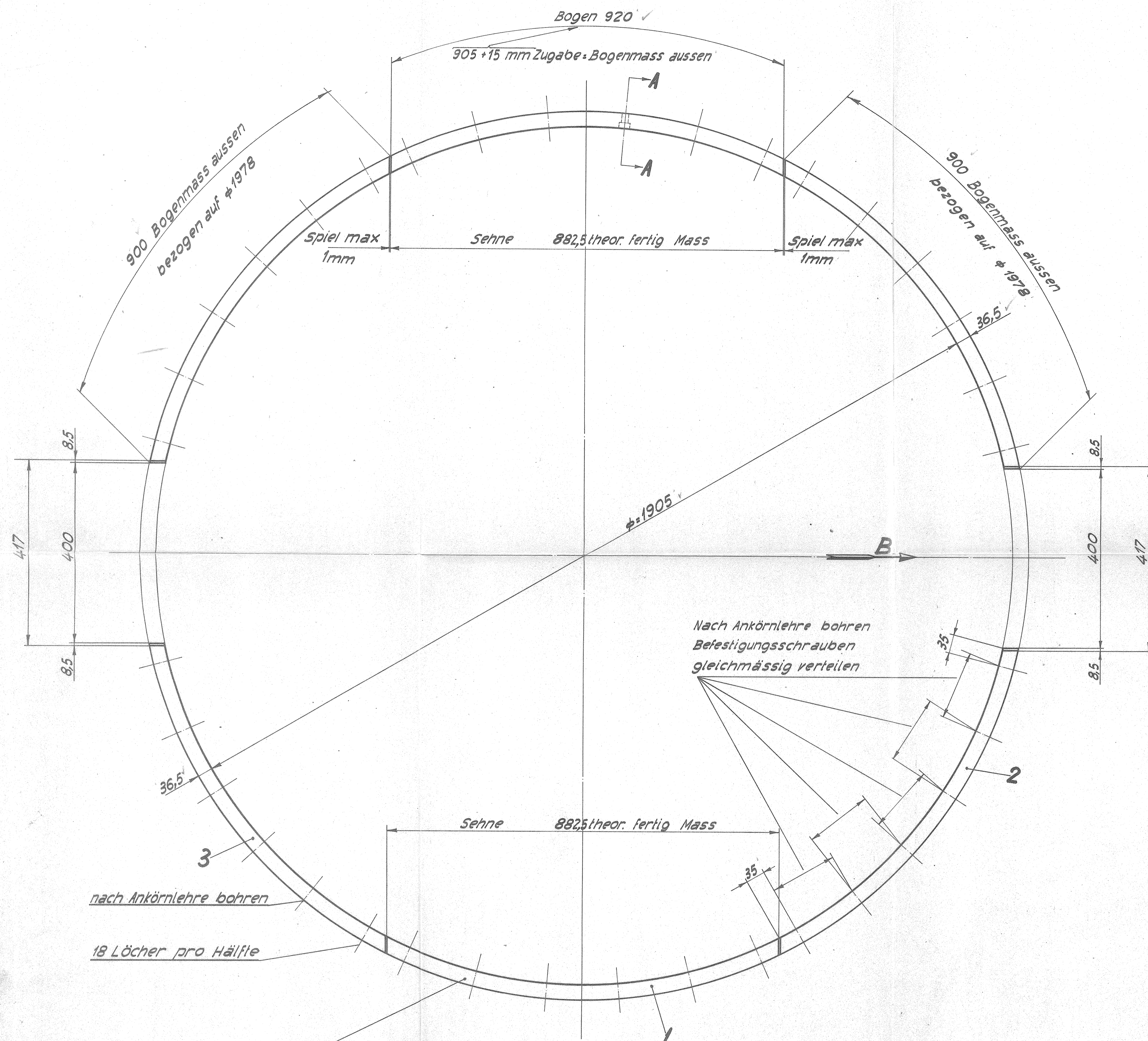
Automat. Rohrabschluss 1900NH

Schlauchanschluss

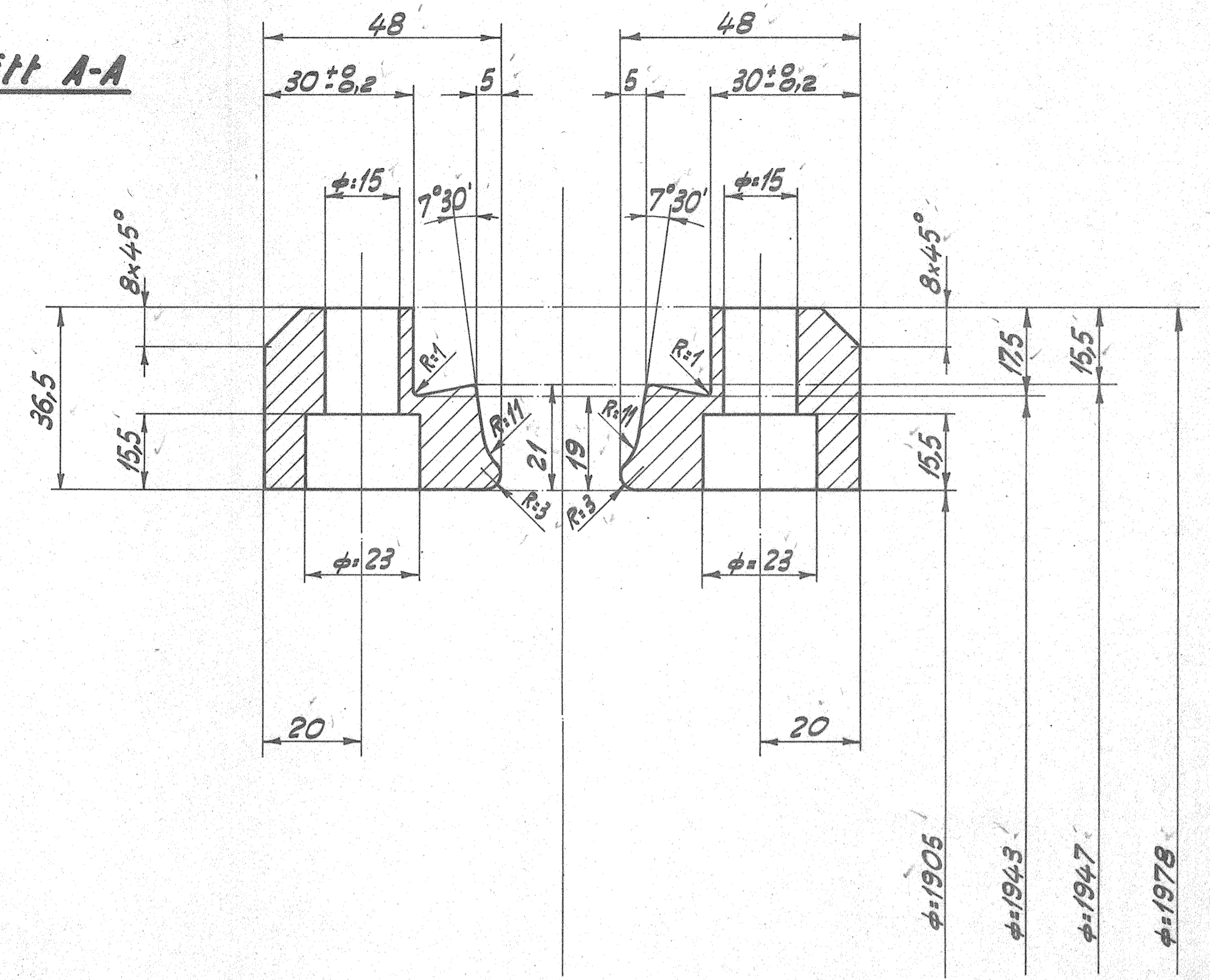
Maßstab
 Echelle 1:1
 Gezeichnet
 Dessiné 22-2-57
 Geprüft
 Contrôlé
 Gegeben
 Vu

Ges. der Ludw. von Roll'schen Eisenwerke A.G.
Eisenwerk Kius

Abt. 1/6 **WG2-00153 A**



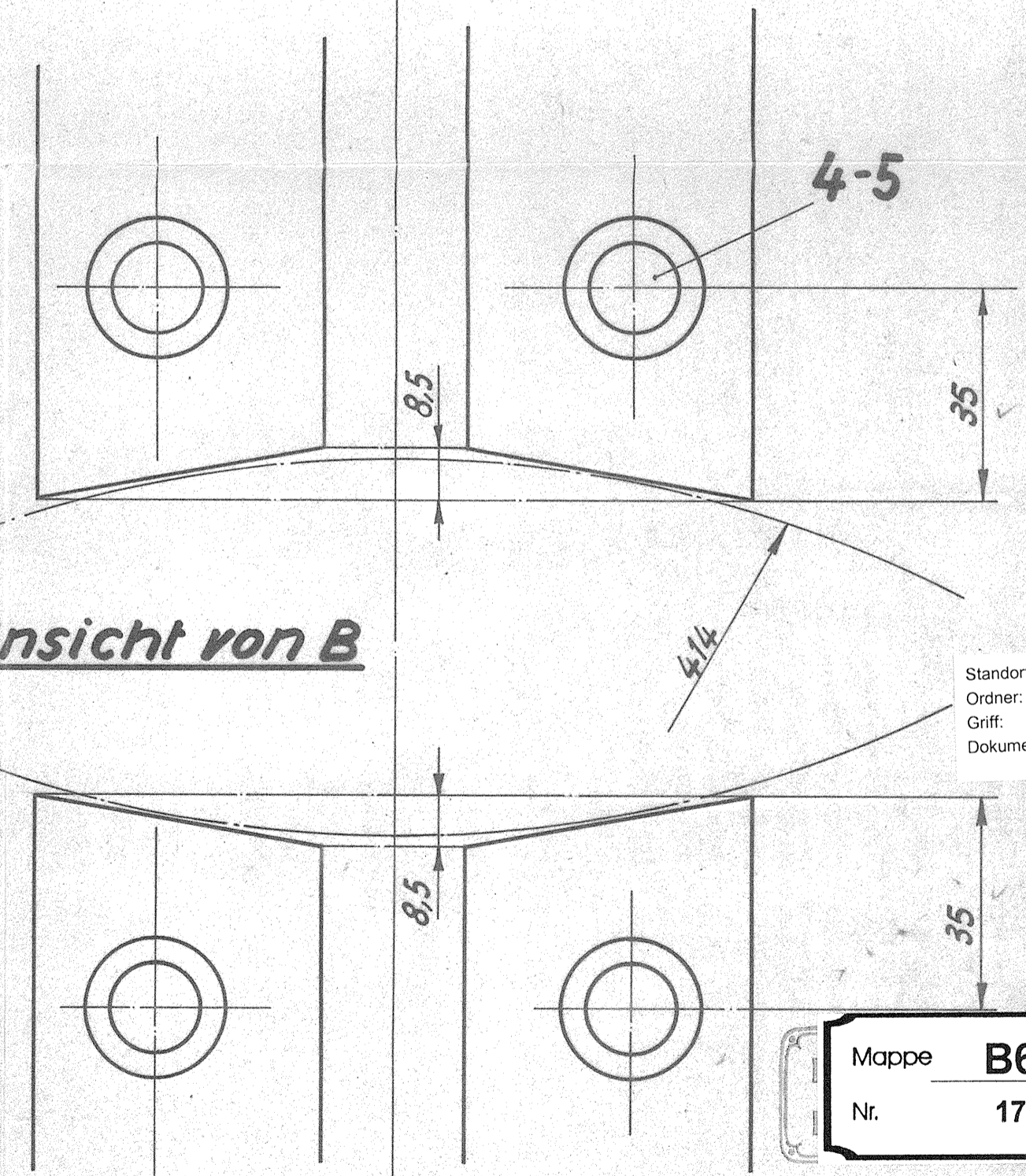
Schnitt A-A



1-3

Nach Ankörnlehre bohren
 Befestigungsschrauben
 gleichmässig verteilen

Ansicht von B



Standort: Büro
 Ordner:
 Griff:
 Dokument:

Mappe **B6**
 Nr. 17

12 Federring B13,5	7	Fed. St.	12740	als Reserve	Mag.
12 Zylinderschraube 1/2" x 40/30	6	St. rostfrei	12181	als Reserve	V. a. u. s. k.
72 Federring B13,5	5	Fed. St.	12740		Mag.
72 Zylinderschraube 1/2" x 40/30	4	St. rostfrei	12181		V. a. u. s. k.
4 Segment	3	Inox 14-17 Cr			
4 Segment	2	"			
4 Segment, Endstück	1	Inox 14-17 Cr			

17 Ersetzt durch
 Remplace par
 Ersatz für
 Remplace

Automat. Rohrabschluss 1900 NW
Befestigungssegmente

Messstab
 Gezeichnet
 1:1
 1:5

26-2-57
 Geprüft
 Gegeben

Ges. der Ludw. von Roltschen Eisenwerke A.G.
Eisenwerk Klus

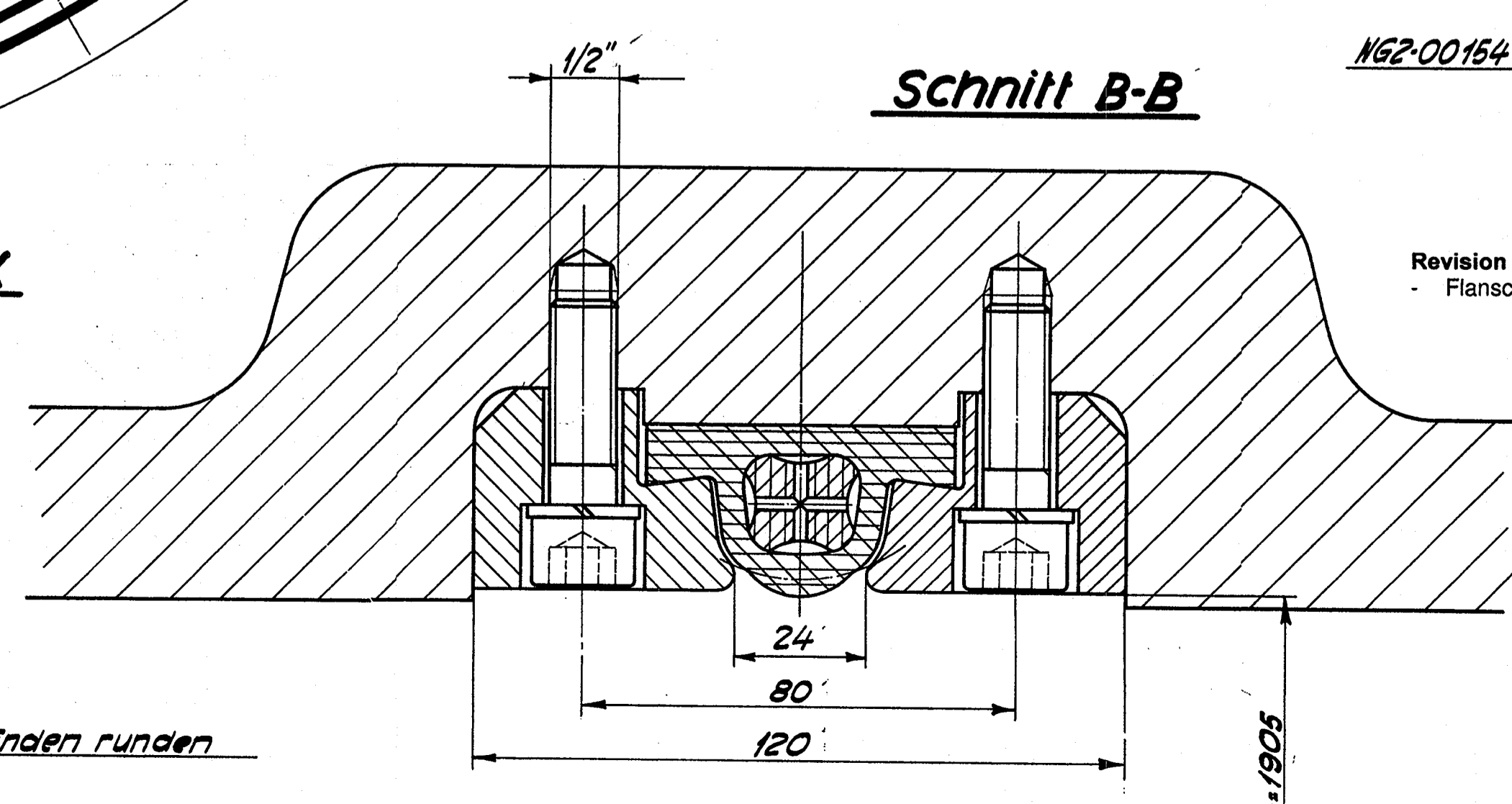
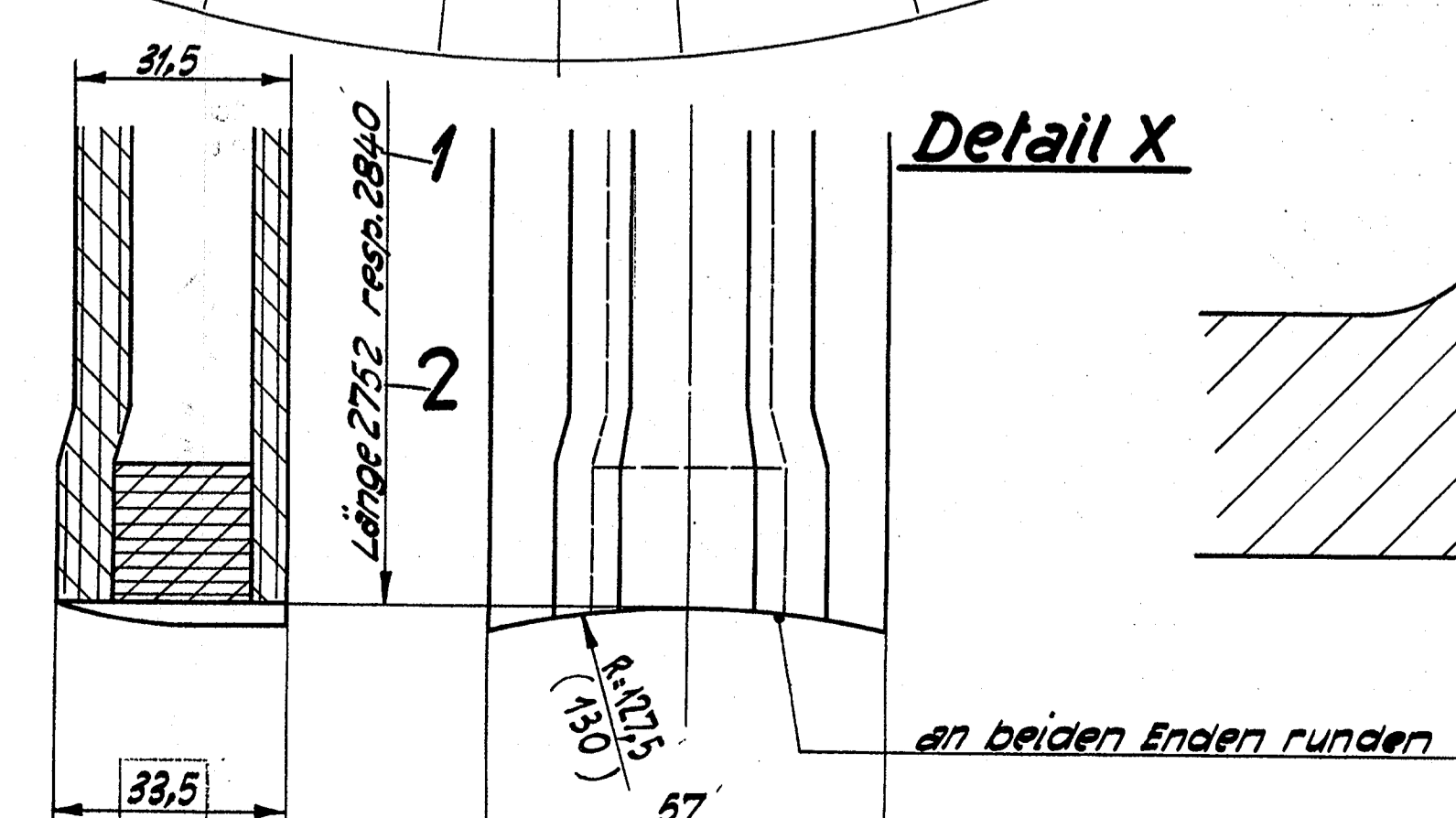
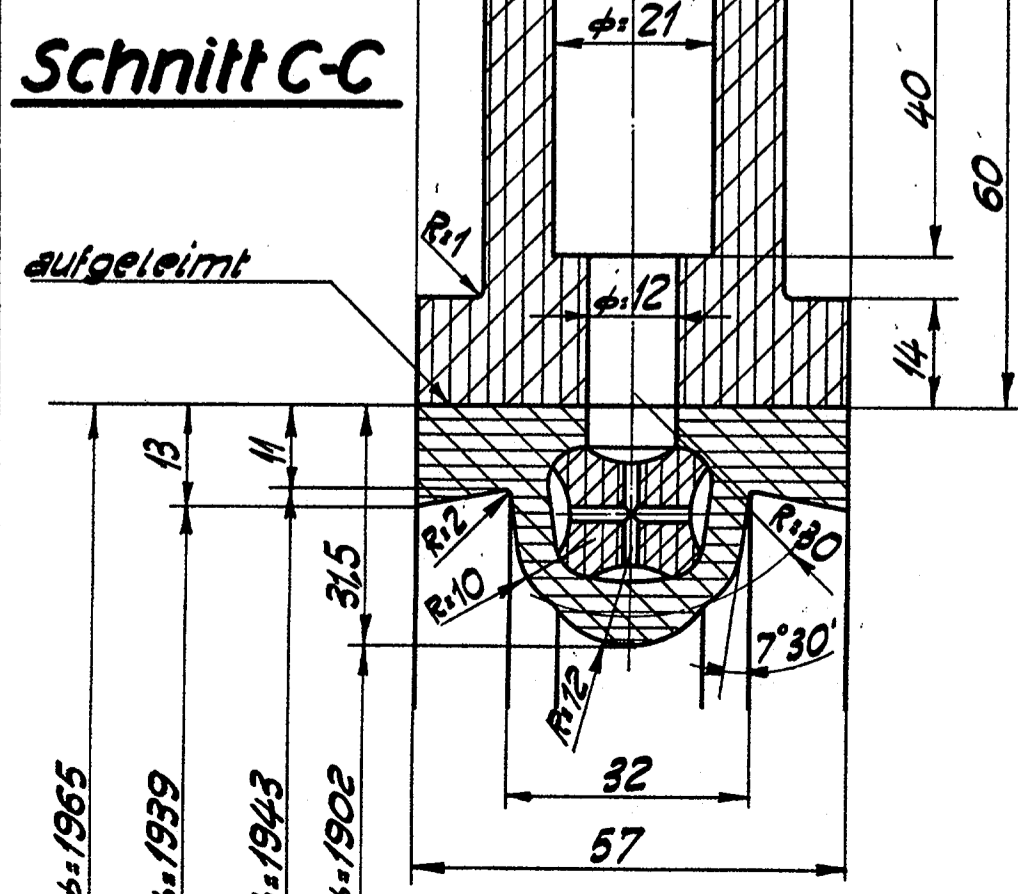
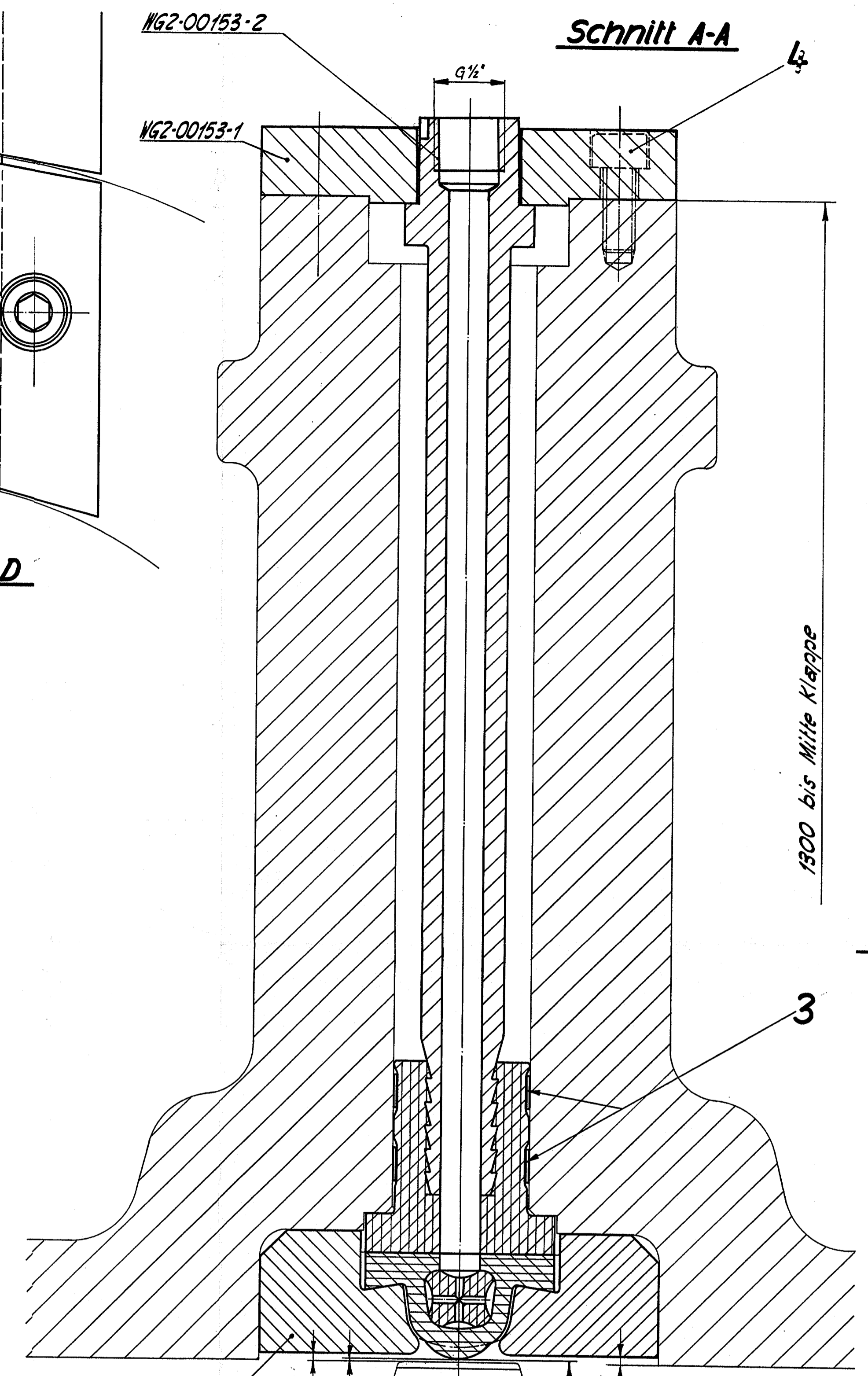
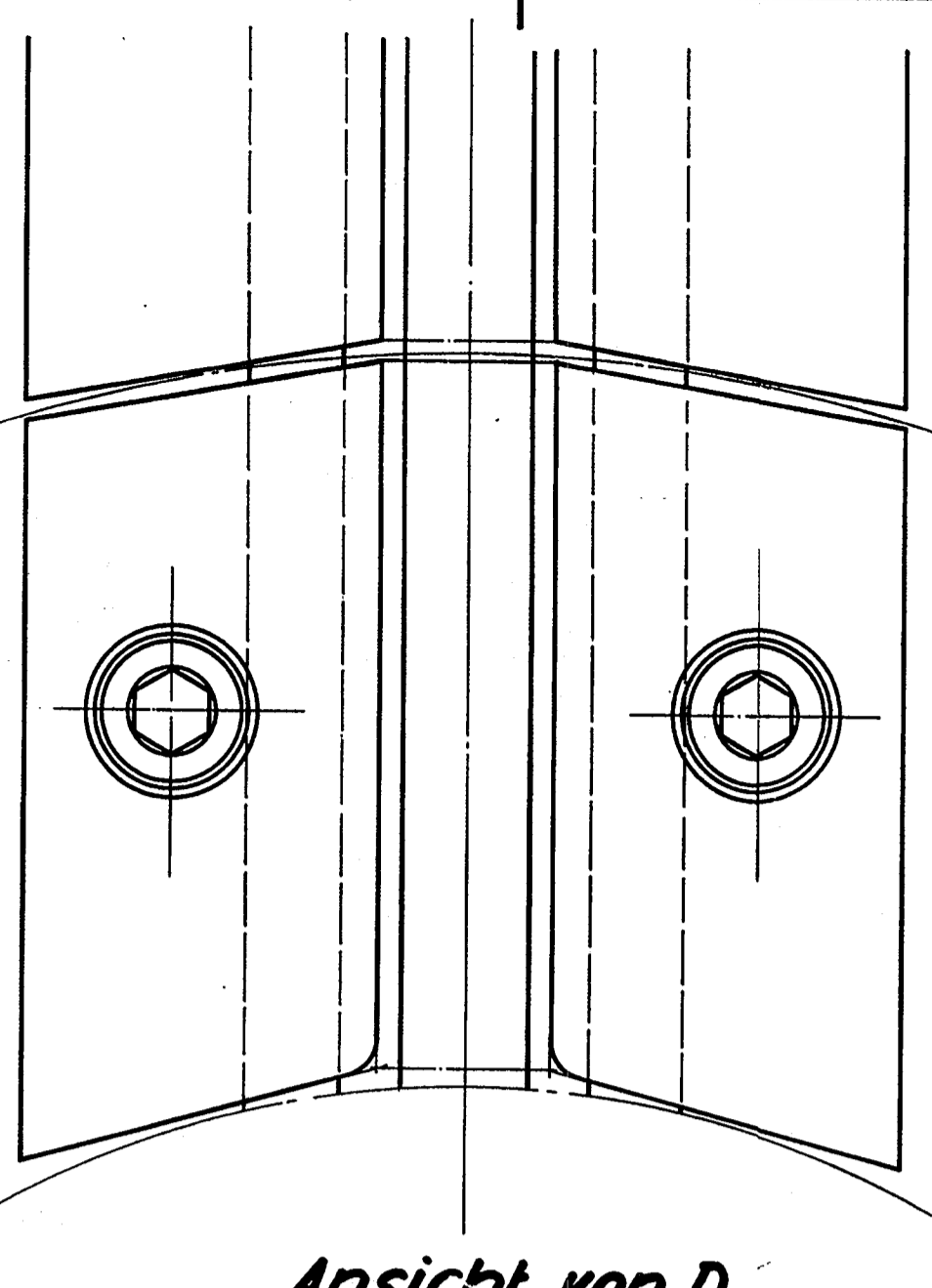
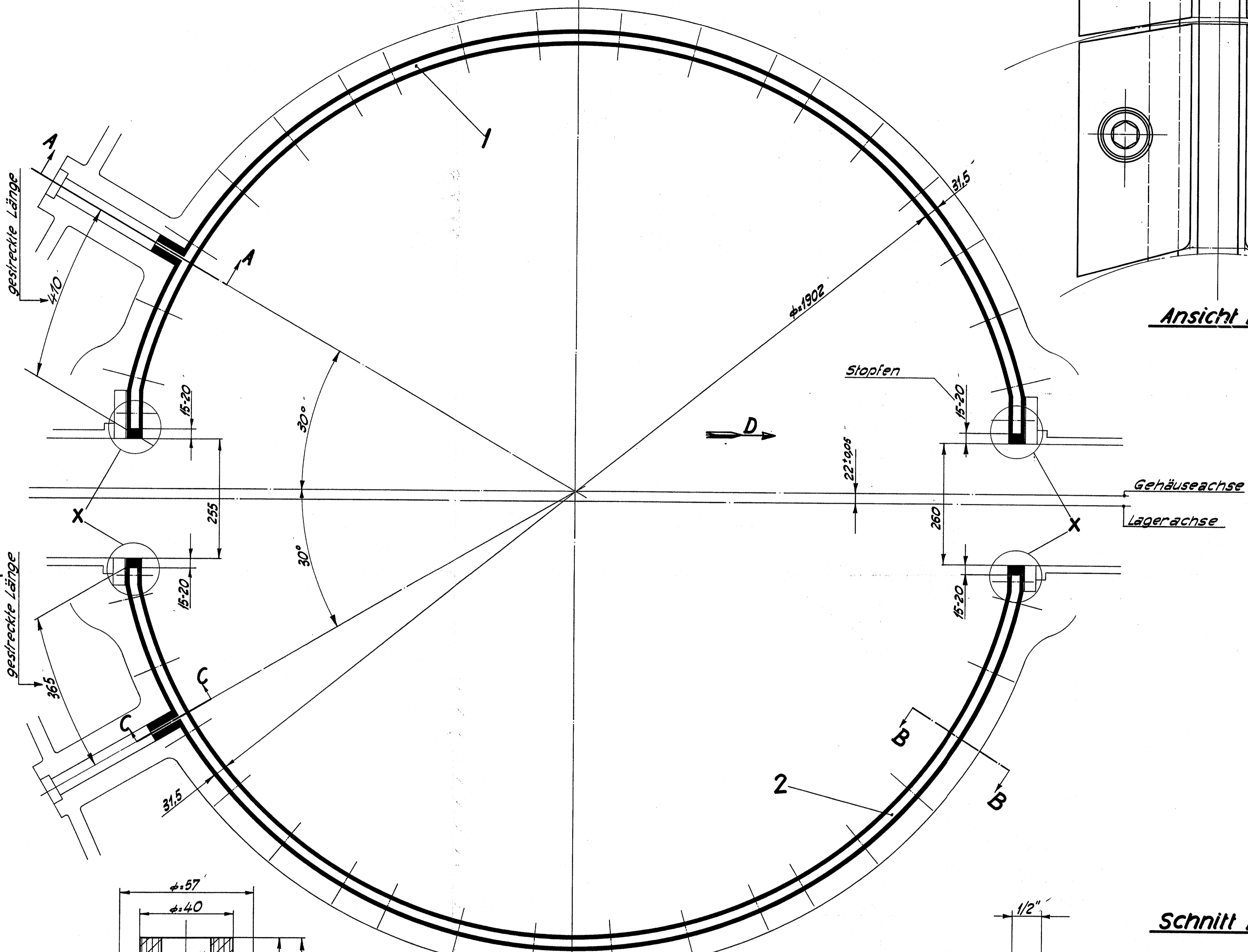
WG2-00154

Das Urheberrecht an diesen Zeichnungen
 und allen Beilagen, die dem Empfänger
 persönlich anvertraut sind, verbleibt jeder-
 zeit unserer Firma. Ohne unsere schriftliche
 Genehmigung dürfen sie nicht kopiert oder
 veröffentlicht, namentlich in dritter Person
 mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden.

EISENWERK KLUS
 Klus (Sw)

Die genaue Länge der 4 Endstücke
 bei der Montage bestimmen

Achtung: bei Montage Gummischlauch nicht einfetten



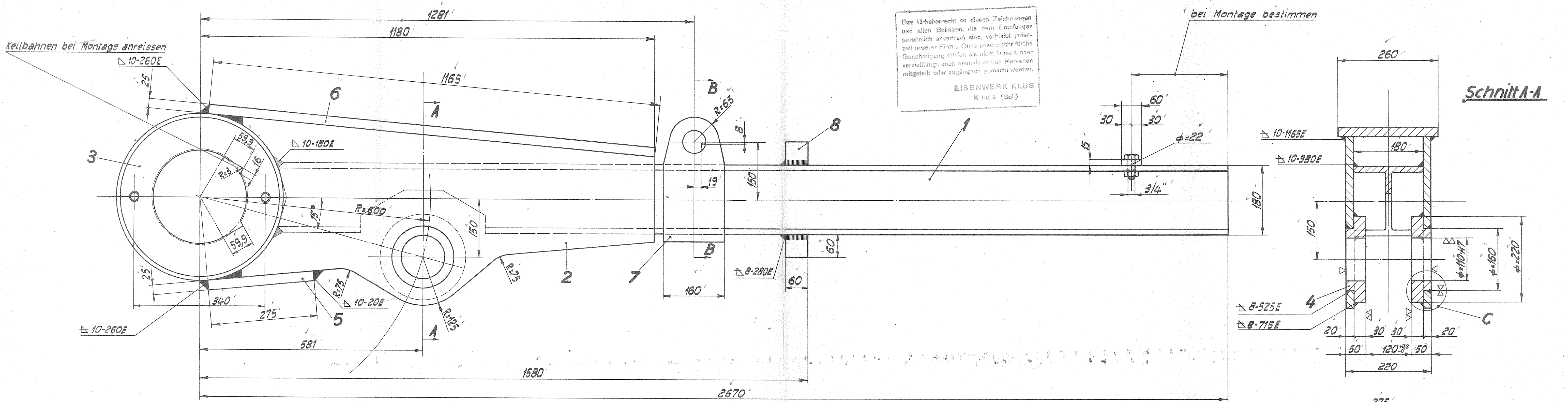
Mappe **B 6**
Nr. **18**

Standort: Büro
Ordnung: 2, 3, 4, A
Griff: 1
Dokument: 26
Ackersand II

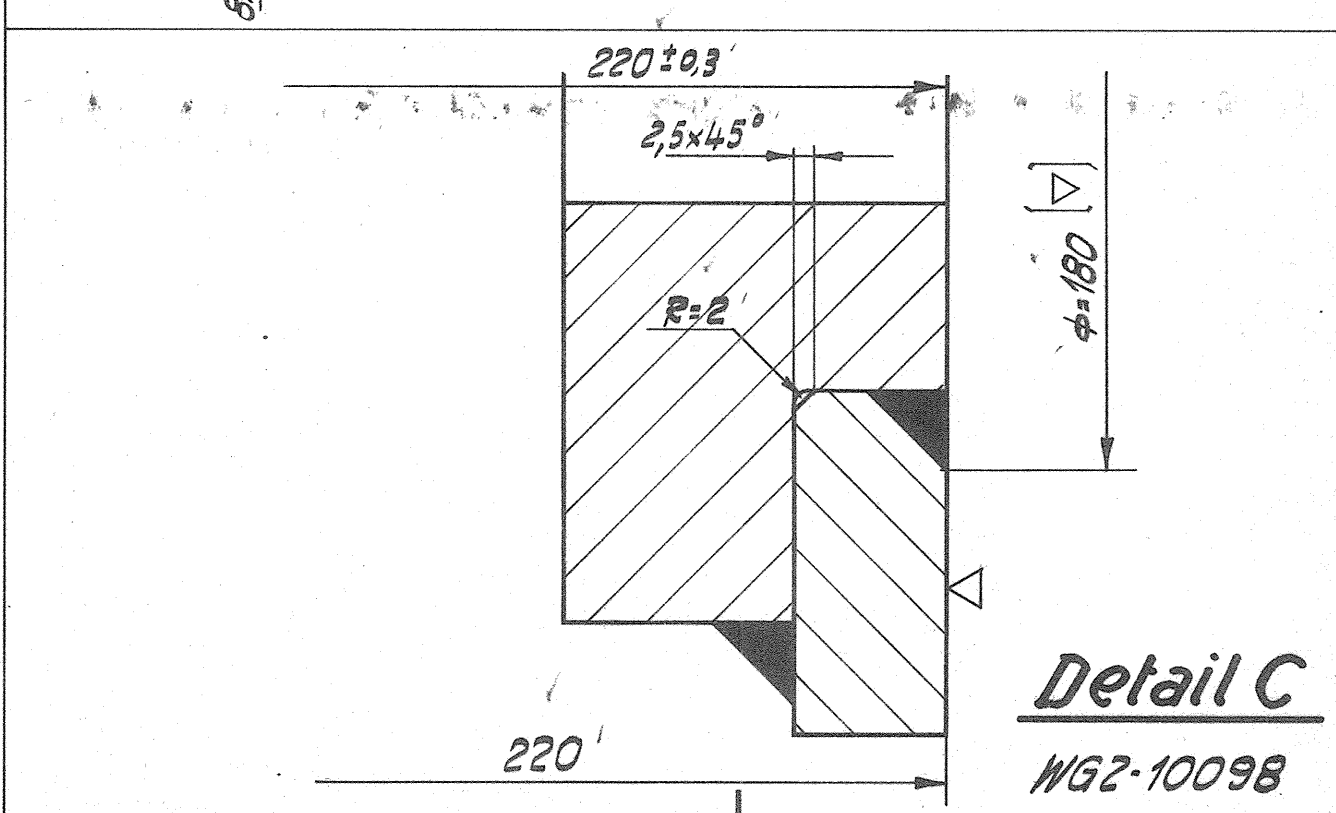
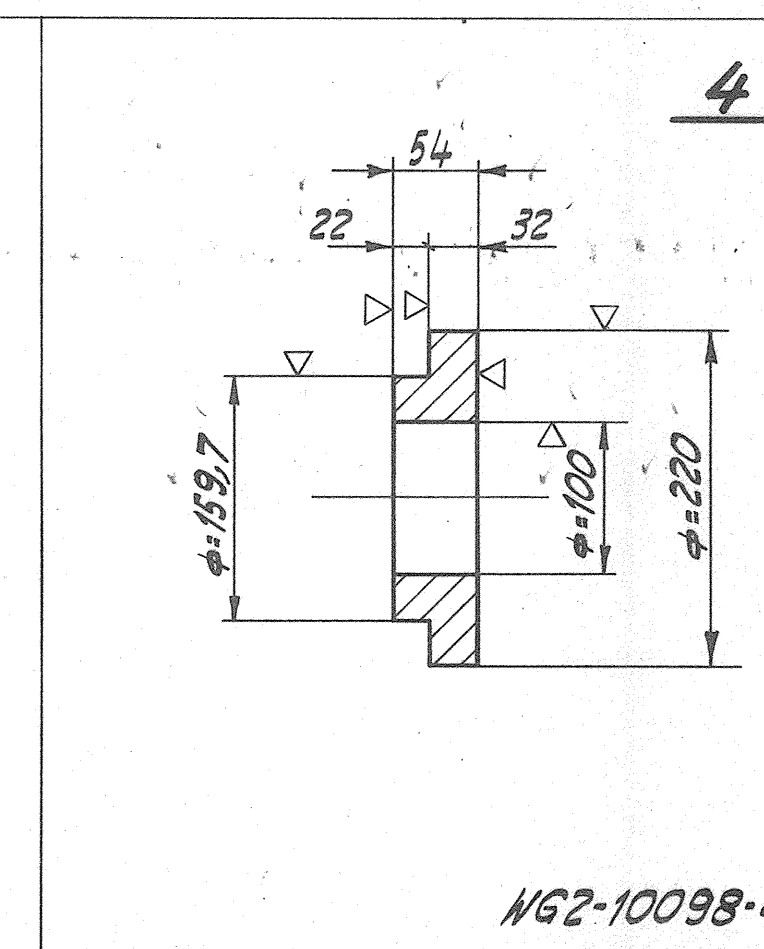
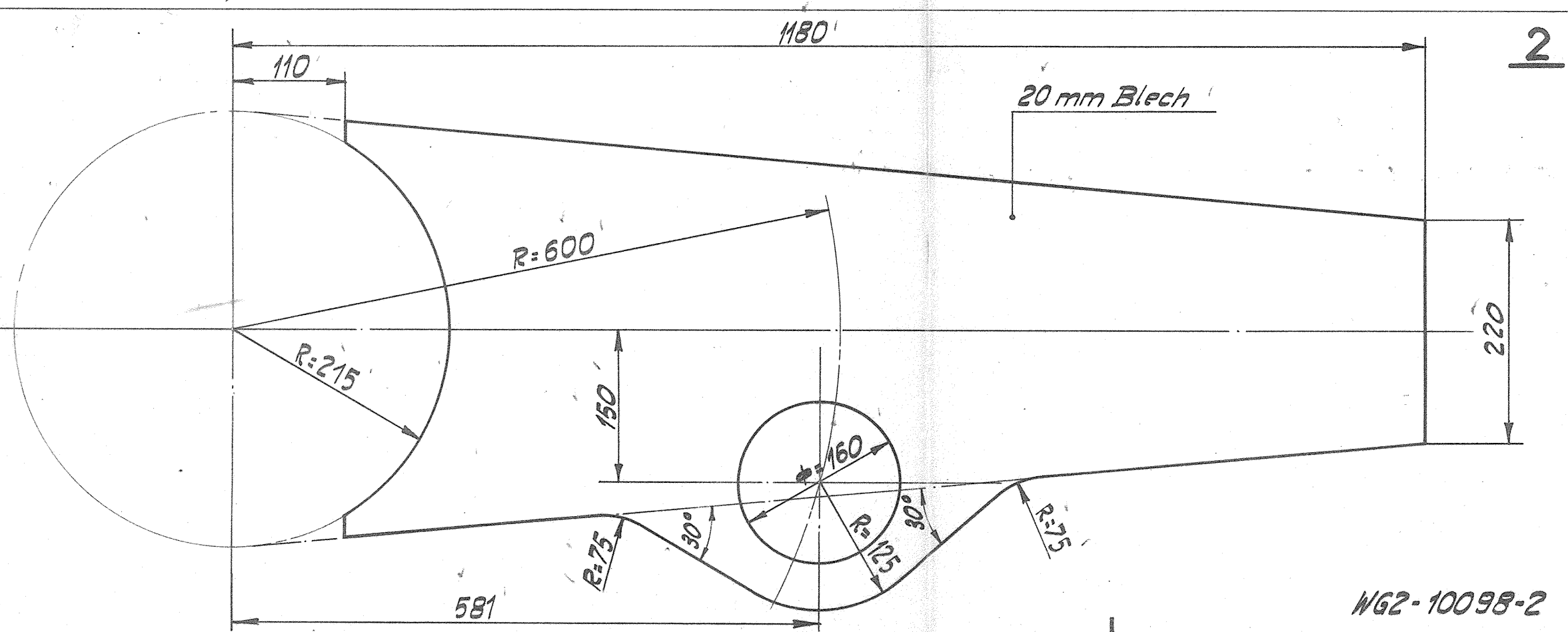
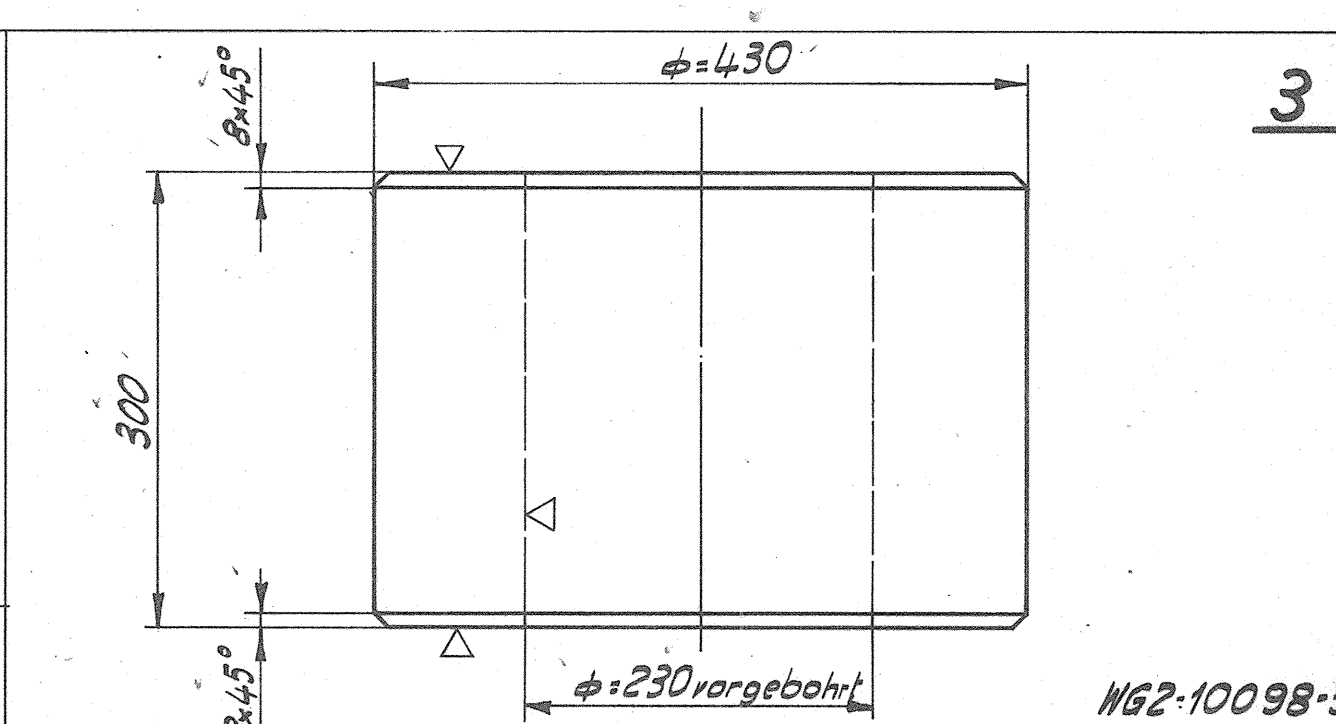
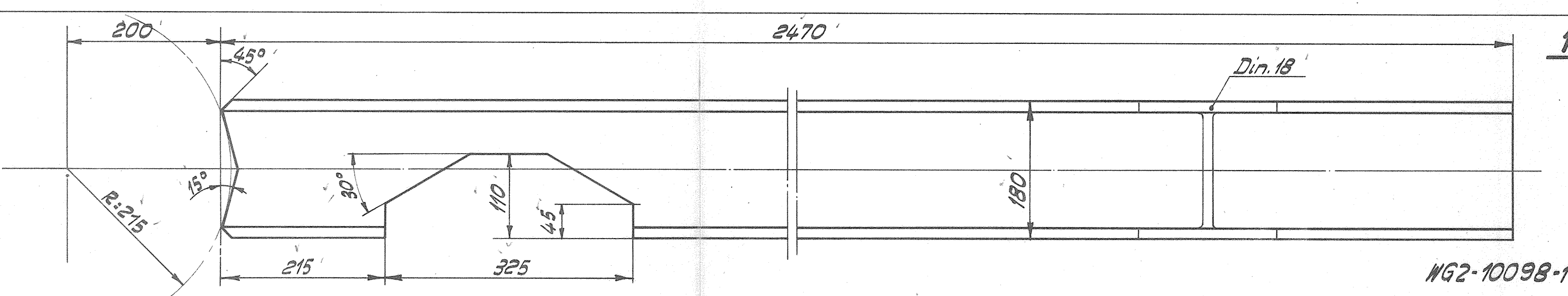
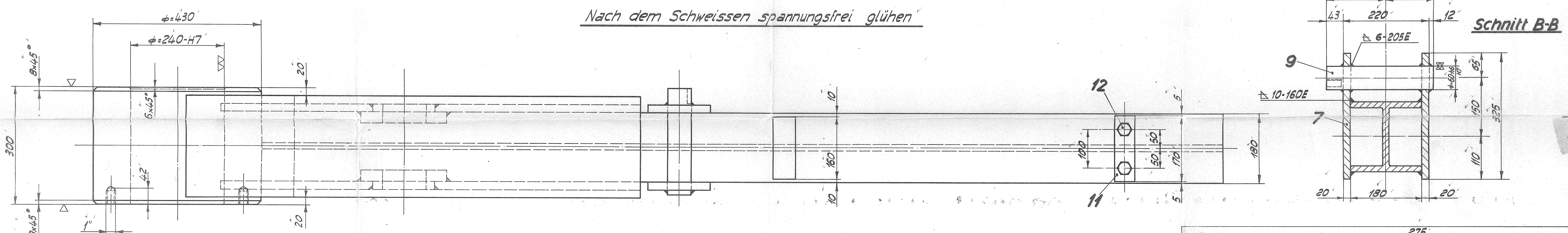
Revision 2000:
- Flansch und Stützen geändert gemäss Zchn. WG2-00153

8	Zyl.-Schr in-Gelt UNC 3/8" x 1"	4	14301		
4	LIGAREX Heftband	3	AI		
1	Gummischlauch Länge 2752	2	E2555-A		V. AUSW.
1	Gummischlauch Länge 2840	1	E2555-A		II
Stückzahl	Gegenstand Specification	Pos. Rep.	Werkstoff Materie	Modell Modèle	Bemerkungen Observations
Index A: 03.11.00 P.7L					
Ersetzt durch Remplacé par Ersetzt für Remplace					
Automat. Rohrabschluss NW1900			Maßstab Echelle	Geschicht Dessiné	1-3-57
Gummischlauch			1:1	Geprüft Contrôlé	
Ges. der Ludw. von Roll'schen Eisenwerke A.G.			1:5	Gegeben Vu	
Eisenwerk Klus			Abt. NG WG2-00155 A		

01 rohverputzt; 02 geschruip; 03 geschlicht; 04 feingeschlicht; 05 geschliffen nach dem Härten; 06 geschabt, tuschiert; 07 einseitiggehärt; 08 gehärt; 09 emailiert; S geschweißt; G Gasmetzschweißung; E Lichtbogenschweißung.



Nach dem Schweißen spannungsfrei glühen



9 10 275 60-H6

WG2-10098-9-10

Mappe B6
Nr. 10

Stk-zahl	Gegenstand Specification	Standort: Ordnr.	Büro Matrike	Material	Modell Modell	Bemerkungen Observations
2	r.6kt. Schrauben 3/4"x55/35			St 00.13	12502	Mag.
1	Halter 60/15x170			St 00.21		
1	Rostfr. Auftrag 40/11x3			10 max 13Cr		
1	Bolzen φ=60x275			St 50.11		
2	Nocken 60/60x160			St 37.12		
2	Laschen 325/160x20			St 00.21		
1	Gurtblech 1165/260x25			St 00.21		
1	Verstärkung 275/260x25			St 00.21		
2	Büchse φ220/160/110x50			St 37.12 bg		
1	Nabe φ430/240x300			St 37.12		Vausw
2	Seitenblech 1070/450x20			St 00.21		
1	Hebel Din 18x2470			St 37.12		

Autom. Rohrabschluss NW1900; Tatü.

Gewichtshebel

Ges. der Ludw. von Roll'schen Eisenwerke A.G.
Eisenwerk Klus

Abt. WG **WG2-10098**

Ersetzt durch
Remplace par
Ersatz für
Remplace

10

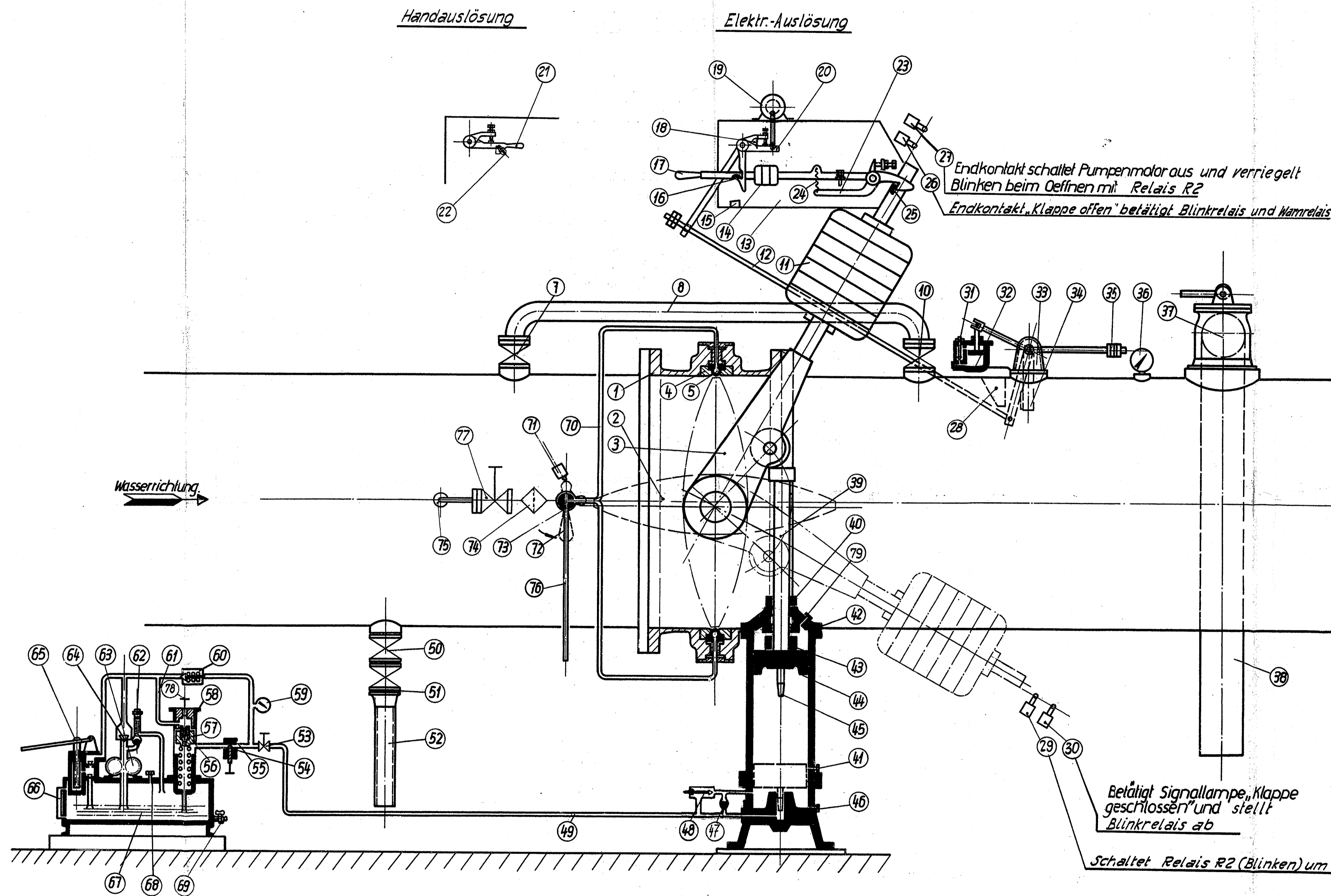
Maßstab
Schale 1:1
Geschnitt
Contour 1:2,5
Geschn
Vu 1:5

31-1-57

Bezeichnungen: ~ glatte Fläche, unharb.; 01 rohrverputzt; ▽ geschruipelt; ▽▽ geschlichtet; ▽▽▽ halbgeschlichtet; 14 geschliffen nach dem Härten; 15 geschabt, tuschiert; 22 einseitiggehärtet; 23 gehärtet; 55 emailtiert; S geschweißt; G Gasschutzschweißung; E Lichtgeschweißung.

Legende.

- ① Autom. Drosselklappe, Gehäuse
- ② Drehlinse
- ③ Gewichtshebel
- ④ Halteringe
- ⑤ Gummischlauch
- ⑥
- ⑦ Reserve-Umleitungsschieber
- ⑧ Umleitungsrohr
- ⑨
- ⑩ Betriebs-Umleitungsschieber
- ⑪ Schliessgewicht
- ⑫ Betätigungsgestänge
- ⑬ Mechanischer Auslöseapparat
- ⑭ Auslöshebel (Verstärker)
- ⑮ Aufschlag
- ⑯ Klinke zum Verstärker
- ⑰ Handbetätigung (Spannen des Auslöseapparates)
- ⑱ Zugfeder
- ⑲ Elektr. Auslöseapparat
- ⑳ Betätigungshebel (Elektr.-Auslösung)
- ㉑ Handbetätigungshebel (Auslösung)
- ㉒ Sicherung und Schloss
- ㉓ Hebel zur Gewichtsverklüftung
- ㉔ Zugfeder
- ㉕ Klinke am Gewichtshebel
- ㉖ Kontaktschalter
- ㉗ Kontaktschalter
- ㉘ Abweiser
- ㉙ Kontaktschalter
- ㉚ Kontaktschalter
- ㉛ Drosselstift
- ㉜ Ölbrems
- ㉝ Hydr. Auslöseapparat
- ㉞ Staueller
- ㉟ Gegengewicht
- ㊱ Verriegelungskontakt-Manometer. (Druckschalter)
- ㊲ Automat. Lufteinlassventil
- ㊳ Ablaufrohr
- ㊴ Kolbenstange
- ㊵ Distanzring für Hubbegrenzung, Klappe geschlossen.
- ㊶ Entlüftungsschraube
- ㊷ Katarakt-Deckel
- ㊸ Distanzring für Hubbegrenzung, Klappe offen.
- ㊹ Katarakt-Kolben
- ㊺ Drosselstift. (Endschliessgeschwindigkeit)
- ㊻ Entleerungsschraube
- ㊼ Rückschlagventil
- ㊽ Drosselstift. (Endschliessgeschwindigkeit)
- ㊾ Druck-Steuerteilung
- ㊿ Reserve-Entleerungsschieber
- 1 Betriebs-Entleerungsschieber
- 2 Ablaufrohr
- 3 Absperrschieber
- 4 Drosselschieber. (Anfangsschliessgeschwindigkeit)
- 5 Rücklaufleitung
- 6 Steuerkolben
- 7 Regulierschraube
- 8 Steuerventil
- 9 Öldruckmanometer
- 10 Rückschlagventil mit Feder
- 11 Druck-Steuerteilung
- 12 Überstromventil
- 13 Motorpumpe
- 14 Rückschlagventil
- 15 Handpumpe
- 16 Ölstandsanzeiger
- 17 Ölreservoir
- 18 Belüftungsschraube
- 19 Entleerungshahn
- 20 Wasserleitung zum Gummischlauch
- 21 Verriegelungskontakt
- 22 Steuervebel
- 23 Dreiweghahn
- 24 Filter
- 25 Druckerinnahme
- 26 Abaufleitung von der Schlauchdichtung
- 27 Absperrschieber
- 28 Entlüftungsschraube
- 29 Belüftungsschraube



Revision 2000:
-Neue Symbole für Filter (74) und 3-Wegehahn (73)

Standort: Büro
Ordnr: 2.3.4.1.
Griff: 1
Dokument: 116

A 06.11.00 P.T.L.
13.10.58 J.L.
Änderung: 11.10.57 Bannmann

Drosselklappe als autom. Rohrabschluss.		Maßstab	Gezeichnet	19.257	4
Hydr. Schema.		Echelle	Designé		
Ges. der Ludw. von Roll'schen Eisenwerke AG		Geprüft			
Eisenwerk Klus		Controlé			
Abt. WG.		Gegeben			
WG2-90042 A		Vu			