

Manuel

THENA

Thermal Network Analysis

Stefan Thalmann, Verenum AG, 8006 Zurich

Septembre 2024

THENA 1.3

Manuel THENA - Analyse des réseaux thermiques

Mandant

Office fédéral de l'énergie

Mandataire

Verenum AG

Auteur

Stefan Thalmann, Verenum AG, 8006 Zurich

Traduction

Laure Deschaintre, Planair SA, 1440 Yverdon-les-bains

Suivi du projet

Daniel Binggeli, Office fédéral de l'énergie

Office fédéral de l'énergie

Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen, adresse postale : CH 3003 Berne

www.bfe.admin.ch

Ce rapport a été rédigé à la demande d'Energie Suisse.

L'auteur est seul responsable du contenu.

Table des matières

1	Outil Excel THENA	4
1.1	Situation de départ.....	4
1.2	Limites du système	5
1.3	Possibilités d'utilisation	6
2	Généralités.....	7
2.1	Système Condition préalable.....	7
2.2	Limitations de la version de démonstration	7
2.3	Calculs	7
2.4	Paramétrage Excel - Calcul manuel	7
2.5	Représentation des valeurs des cellules	7
2.6	Lignes d'aperçu.....	8
2.7	Adapter et restaurer les Valeurs par défaut	8
2.8	Impression des classeurs	8
3	Saisie des données	9
3.1	Procédure	9
3.3	Dossier de travail <i>E1_Général</i>	10
3.3.1	Grandeurs de saisie.....	10
3.3.2	Valeurs déduites	13
3.3.3	Grandeurs calculées	15
3.4	Dossier de travail <i>E2_Sous-trains</i>	19
3.5	Dossier de travail <i>E3_Paramètres</i>	26
3.7	Dossiers de travail <i>sur les données tubulaires</i>	28
4	Evaluation	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4.1	Dossier de travail <i>A1_Sous-trains</i>	31
4.2	Dossier de travail <i>A2_Graphiques</i>	33
5	Caractères de formule et indices	39
6	Littérature	41
7	Feuilles d'aide Branches	42

1 Outil Excel THENA

1.1 Situation de départ

L'outil Excel THENA (Thermal Network Analysis) permet de simuler et d'analyser des réseaux de chauffage à distance nouveaux ou existants. THENA est basé sur l'outil Excel utilisé dans l'étude préliminaire [1] pour un réseau avec un seul consommateur, ce qui a permis de déterminer l'influence des paramètres d'exploitation sur les coûts et les pertes de chaleur d'un réseau de chauffage à distance. Pour l'analyse de l'état actuel des réseaux de chaleur à distance [2] l'outil Excel a été étendu afin d'examiner plus en détail cinq réseaux de chauffage à distance réels à l'aide des plans du réseau, des données des consommateurs et des producteurs de chaleur. Cela a permis de mettre en évidence des possibilités d'optimisation et des potentiels d'optimisation qui n'avaient pas été exploités lors de la planification et de la conception, illustrant ainsi l'importance de la conception du réseau, surtout dans la phase de planification. En outre, l'estimation du potentiel d'optimisation à partir de l'outil a pu contribuer à expliquer les raisons de la trop grande dispersion des pertes de réseau pour des densités de raccordement identiques (voir Image 1.1 par exemple pour une densité de raccordement de 2 MWh/(a m)).

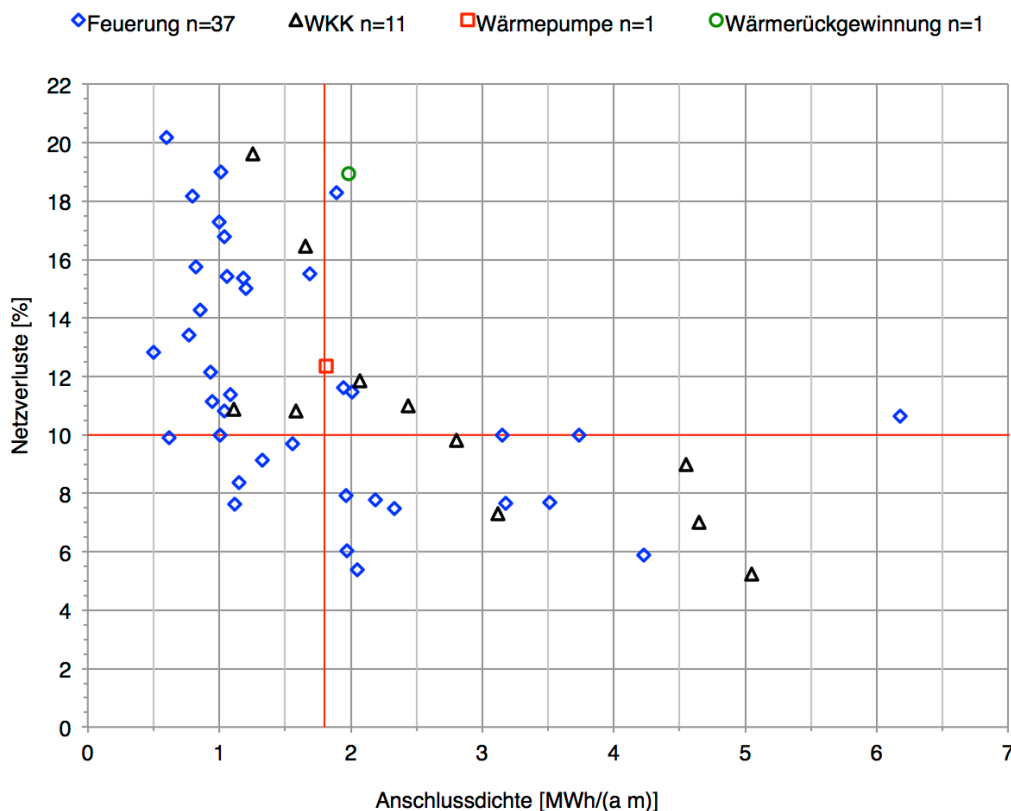


Image 1.1 Pertes de chaleur du réseau (pertes de réseau) en fonction de la densité de raccordement [2]. Les données sont différenciées selon le type de production de chaleur. Quantité de données : 50 installations.

Lors de la mise en œuvre de mesures d'optimisation sur des réseaux de chauffage à distance existants [3] l'outil Excel a été utilisé, amélioré et validé sur deux autres réseaux de chauffage à distance. Pour la validation des calculs, les réseaux étudiés ont en outre été simulés à l'aide d'un logiciel professionnel de calcul de réseau. Ces calculs ont été effectués par la société Porta AG à Interlaken avec le logiciel SIR3S de 3S Consult (Munich) et par la société Triplex Energie planer AG à Sissach avec le logiciel STANET du bureau d'ingénieurs Fischer Uhrig (Berlin).

1.2 Limites du système

Le calcul dans THENA se base sur la limite du système selon la Image 1.2 et ne considère que la distribution de chaleur du côté primaire du réseau de chaleur. Les flux entrants dans la zone de bilan sont le départ de la centrale thermique, la consommation d'électricité pour la pompe du réseau et le retour fourni par les consommateurs. Les flux sortants sont la chaleur livrée aux consommateurs, le retour de la centrale de chauffage et les pertes de chaleur du réseau.

Le calcul est effectué dans un fichier Excel sans macros et est évalué sous forme de graphiques et de tableaux. Le calcul et la saisie dans l'outil se basent sur un plan du réseau avec des indications sur le type de conduite, le diamètre nominal, le tracé avec des indications de longueur pour les différentes branches de tracé ainsi que les puissances de raccordement des différents consommateurs de chaleur. D'autres indications concernent la durée d'exploitation annuelle du réseau, les heures de fonctionnement à plein régime des consommateurs de chaleur et les températures primaires de départ et de retour en exploitation. Des informations et des explications détaillées sur les données à saisir sont fournies dans les chapitres correspondants des différents classeurs Excel.

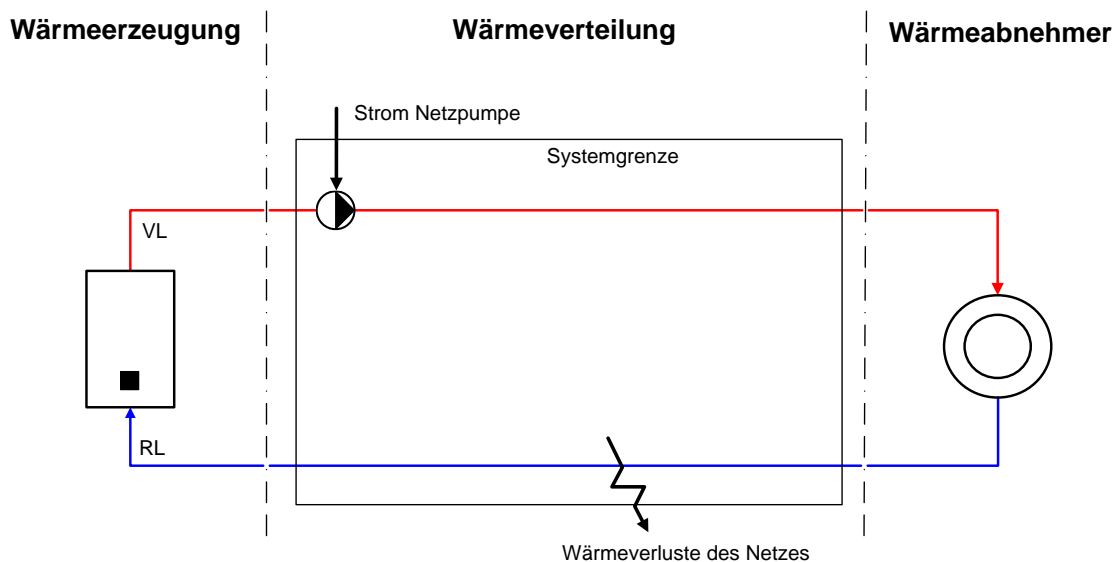


Image 1.2 Limite du système pour le calcul du réseau de chauffage à distance.
VL=départ, RL=retour du réseau de chauffage à distance.

1.3 Possibilités d'utilisation

L'outil Excel THENA permet de calculer et d'analyser les réseaux de chauffage à distance de manière statique. Les calculs dynamiques tels que les courbes journalières ou annuelles ne peuvent pas être effectués. Seuls différents cas de charge peuvent donc être simulés individuellement et comparés entre eux. THENA offre les possibilités d'utilisation suivantes :

- Saisie de l'état réel et simulation de différents cas de charge
- Modification aisée des paramètres du réseau tels que le diamètre nominal, l'épaisseur d'isolation, la simultanéité, etc.
- Analyse économique à long terme de la distribution de chaleur sur la base de la méthode des annuités
- Saisie d'une station de surpression montée en série dans l'aller
- Représentation graphique des relations importantes
- Schéma d'impression pour un point le plus défavorable défini
- Caractéristique du réseau pour un point le plus défavorable défini
- Représentation du diamètre nominal optimal de chaque branche
- Liste des principales caractéristiques (Densité de raccordement, perte de chaleur, pression du réseau, etc.)

Les restrictions suivantes doivent être respectées lors de l'utilisation :

- Un seul apport de chaleur possible (pas de réseaux maillés ou circulaires)
- Nombre de branches limité à 400 (puissance connectée estimée à environ 10 MW)
- Possibilité d'extension du réseau et d'intégration ultérieure de consommateurs supplémentaires moyennant des frais.

2 Généralités

2.1 Système Condition préalable

Pour utiliser THENA, vous devez disposer d'un ordinateur fonctionnant sous Windows ou d'un Mac avec OS X. Pour une utilisation rationnelle, nous recommandons un ordinateur à la pointe de la technologie. Vous avez également besoin de Microsoft Excel 2007, Excel 2010, Excel 2011 pour (Mac), Excel 2013, Excel 2016 ou Excel 2016 pour (Mac).

Les remarques et les écrans d'impression présentés dans ce manuel se réfèrent toujours à une application avec Windows 10 et Excel 2016. Si vous travaillez avec une version plus ancienne ou avec Mac, l'application peut être légèrement différente des remarques et des écrans présentés ici.

2.2 Limitations de la version de démonstration

Le présent manuel décrit la version complète de THENA. Les restrictions suivantes concernent la version de démonstration et doivent être prises en compte lors du travail avec celle-ci :

- Nombre de branches limité à 33
- Sélection du système de tuyauterie limitée au Métal pré-isolé (pas d'adaptation possible des valeurs par défaut)
- Adaptation limitée des valeurs des paramètres

Le manuel ne donne aucune autre indication sur la version de démonstration.

2.3 Calculs

Les calculs se basent sur les chapitres suivants du manuel de planification du chauffage à distance [5]:

- Chapitre 7.1 : Pertes de chaleur
- Chapitre 7.2 : Perte de pression
- Chapitre 7.3 : Dimensionnement du diamètre des tuyaux
- Chapitre 7.4 : Conception de la pompe

Dans le manuel, des indications de formules et des remarques supplémentaires sur le calcul sont fournies si elles viennent étayer l'explication. Dans le cas contraire, il est fait référence au manuel de planification du chauffage à distance.

2.4 Paramétrage Excel - Calcul manuel

Selon la configuration du système, l'utilisation de THENA nécessite une puissance de calcul relativement importante et rend le travail parfois un peu lent. Si tel est le cas, il est possible de passer le calcul automatique des cellules en mode manuel dans Excel. Pour cela, il suffit de passer en *mode manuel* sous *Formules/Calcul/Options de calcul*. Le calcul manuel des cellules s'effectue en *effectuant un nouveau calcul* sous *formules/calcul*.

Il faut noter que ce réglage est valable localement pour l'ordinateur et pour tous les fichiers Excel ouverts.

2.5 Représentation des valeurs des cellules

Les champs de saisie apparaissent sur fond jaune et en **rouge** (exception : les lignes d'aperçu avec une police de couleur noire).

Les valeurs calculées ont un fond blanc avec des caractères **bleus**.

Les champs informatifs (description, unité, etc.) ont un fond blanc avec des caractères noirs.

2.6 Lignes d'aperçu

Dans les classeurs, les 8 lignes supérieures sont réservées aux indications générales. Celles-ci ne peuvent être saisies et modifiées que dans le classeur *E1_Général* et contiennent les indications suivantes (voir Image 2.1) :

- **Projet** : nom ou définition du projet
- **Variante** : espace sur les trois lignes pour des informations supplémentaires sur le Projet .:
- **Responsable** du projet et **Date** : Nom du créateur du projet et date de début ou de modification.

Les autres informations comprennent le titre de la feuille de calcul, le nom du fichier (au-dessus du titre de la feuille de calcul) et la version de THENA.

THENA_V1.0.17.xlsx	THENA V1.0
Eingabe Allgemein	
Kennwerte für Rohrtypen nach QM Fernwärme (Default-Werte)	Projekt: Musternetz
Eingabe-Parameter (E3) nach QM Fernwärme (Default Werte)	Variante: Variante 1
	Ersteller: Muster Hans
	Datum: 21.12.2017

Image 2.1 Lignes d'aperçu (exemple tiré du classeur *E1_Général*)

2.7 Adapter et restaurer les Valeurs par défaut défaut

Les **données de tube** et les **paramètres** enregistrés pour le calcul dans THENA sont prédéfinis comme valeurs par défaut et peuvent être adaptés en conséquence. Si des valeurs par défaut sont modifiées, cela est indiqué dans les lignes d'affichage sur (voir Image 2.2). Ainsi, le risque d'erreurs de calcul dues à des valeurs par défaut erronées ou modifiées peut être réduit au minimum.

Les valeurs par défaut modifiées peuvent être facilement restaurées en utilisant un nouveau fichier modèle ou en copiant les valeurs par défaut de la zone de modèle et en les collant dans la zone de saisie (Coller les valeurs).

THENA_V1.0.13.xlsx	THENA_V1.0.13.xlsx
Eingabe Allgemein	Eingabe Allgemein
Kennwerte für Rohrtypen nach QM Fernwärme (Default-Werte)	Kennwerte für Rohrtypen angepasst
Eingabe-Parameter (E3) nach QM Fernwärme (Default Werte)	Eingabe-Parameter (E3) angepasst

Image 2.2 Message Valeurs par défaut dans les lignes d'aperçu (exemple tiré du classeur *E1_Général*).
A gauche sans modification - A droite avec modification des valeurs par défaut défaut.

2.8 Impression des classeurs

Les classeurs ont déjà une zone d'impression définie et peuvent donc être imprimés facilement.

Attention aux classeurs *E2* et *A1*, car toutes les sous-files sont contenues dans la zone d'impression et 16 ou 27 feuilles sont imprimées. Lors de l'impression, il convient donc de limiter le nombre de cellules pour ces feuilles de calcul.

3 Saisie des données

3.1 Procédure

La procédure de saisie et d'évaluation d'un réseau de chauffage à distance avec THENA peut être divisée en trois étapes :

1. Définir **les cas de charge**
2. Définir **le point le plus défavorable** et introduire **les données du réseau**
3. Contrôler et interpréter **les résultats**

Comme THENA ne permet qu'un calcul et une évaluation statiques, il faut définir des **cas de charge** différents (p. ex. pour des températures différentes) et les enregistrer sous forme de fichiers Excel distincts pour pouvoir les comparer entre eux.

Différents cas de charge peuvent être modifiés relativement facilement dans le classeur *E1_Général* et les principaux résultats sont présentés dans le même aperçu.

Une autre caractéristique importante dans la comparaison des variantes est le **point le plus défavorable**. Dans les réseaux de chauffage à distance de petite et moyenne taille, le point le plus défavorable est généralement défini comme le consommateur de chaleur le plus éloigné. Dans THENA, un seul point le plus défavorable peut être défini. Si plusieurs points défavorables doivent être analysés, les données du réseau doivent être adaptées et sauvegardées sous forme de fichiers Excel séparés.

Les attributs de chaque branche sont définis comme **données de réseau**. Une branche est définie comme une conduite de chauffage à distance sans changement de diamètre nominal et sans sortie ou ramification. Une modification du diamètre nominal, une sortie ou une bifurcation sont désignées comme des nœuds. Aucun attribut n'est attribué aux nœuds, ils servent uniquement à délimiter une branche partielle par rapport à une autre. Les indications suivantes sont nécessaires pour la saisie d'une branche partielle :

- Puissance du raccordement en kW ou, pour les conduites principales ou de dérivation, indication des numéros de branche suivants
- Type de conduite (Métal pré-isolé, MMR, etc.)
- Diamètre nominal (DN)
- Épaisseur d'isolation (1, 2, 3)
- Longueur du tracé en m
- Type de terrain : route / terrain
- Branche appartenant au consommateur de chaleur le plus défavorable (point le plus défavorable ; Non = 0, Oui = 1)
- Augmentation de la pression (Non = 0, Oui = 1)
- Coefficient de résistance des éléments encastrés dans la branche (Valeur Zeta ; Non = 0, Oui = 1)

Les **résultats** sont d'une part les données les plus importantes sous forme de tableau dans les classeurs *E1* et *A1* et d'autre part sous forme d'évaluation graphique dans le classeur *A2_Grafiken*.

3.3 Dossier de travail *E1_Général*

3.3.1 Grandeurs de saisie

Dans THENA, des grandeurs d'entrée générales doivent être définies pour le calcul (Tableau 3.1). La saisie s'effectue dans le classeur *E1_Général*.

Tableau 3.1 Dossier de travail *E1_Général* : Grandeurs d'entrée

Saisie des tailles	Symbole	unité
Rendement annuel du générateur de chaleur (centrale)	η_{a_WE}	%
Heures de fonctionnement à plein régime des consommateurs de chaleur	T_{WA}	h/a
Nombre d'heures de fonctionnement du réseau par an	T_N	h/a
Facteur de simultanéité	g	-
Température aller si la température extérieure sur site est la température de dimensionnement	T_{VL}	°C
Température de retour en cas de température extérieure d'exposition sur le site	T_{RL}	°C
Température de départ glissante pour la température extérieure moyenne annuelle du site	T_{VL_m}	°C
Température de retour glissante en cas de température extérieure moyenne annuelle sur le site	T_{RL_m}	°C
Différence de hauteur entre le maintien de la pression et le point haut du réseau	h_{Geo_HP}	m
Différence de hauteur entre le maintien de la pression et le point bas du réseau	h_{Geo_TP}	m
Prix du combustible :	P_{Br}	cts/kWh
Prix de l'électricité	P_s	cts/kWh
Durée	n	a
Taux d'intérêt du capital	i	%/a
Pression limite en cas d'incident (MIP)	p_{MIP}	bar
Hauteur de refoulement de la station de surpression (en option ; sans = 0)	p_{DES}	mws
Perte de pression maximale admissible par mètre de conduite	Δp_{max}	Pa/m

Les remarques et définitions suivantes doivent être prises en compte pour les grandeurs de saisie mentionnées ci-après :

Le **rendement annuel du générateur de chaleur** décrit le rapport entre la consommation annuelle de combustible (input) et la quantité de chaleur produite à partir de ce combustible (output). Ce taux peut être déterminé par la consommation de combustible et un compteur de chaleur. Si aucune donnée fiable n'est connue ou si aucun compteur de chaleur n'est disponible, il convient d'utiliser une valeur raisonnable comme valeur par défaut. Pour les chauffages automatiques au bois, la valeur cible de QM Chauffages au bois est par exemple de $\geq 85\%$.

Les **heures de fonctionnement à plein régime** doivent être saisies comme valeur moyenne pour tous les consommateurs de chaleur du réseau. Celle-ci se calcule sur la somme des quantités de chaleur livrées aux preneurs de chaleur par rapport à la somme des puissances de raccordement souscrites par les preneurs de

chaleur. Les heures de fonctionnement à plein régime des consommateurs de chaleur dépendent entre autres des facteurs suivants :

- Région climatique
- Conditions climatiques pendant la période d'observation (correction climatique, par exemple au moyen de degrés-jours de chauffage)
- Structure des consommateurs (limite de chauffage des bâtiments, chauffage des locaux, eau chaude, chaleur industrielle)
- Facteur de simultanéité.

Les valeurs varient entre 1'500 h/a et 3'000 h/a et doivent être adaptées aux conditions locales.

Les **Nombre d'heures de fonctionnement annuel du réseau** dépend de l'exploitation du réseau. En cas d'exploitation à l'année, la valeur à utiliser est de 8'760 h/a. En cas d'exploitation saisonnière, la valeur peut varier entre 4'000 h/a et 6'500 h/a.

Le **facteur de simultanéité g** décrit, dans un réseau avec de nombreux consommateurs de chaleur, l'effet selon lequel pratiquement tous les consommateurs de chaleur ne consomment à aucun moment en même temps la puissance maximale et le facteur de simultanéité permet également de corriger des puissances de raccordement abonnées surestimées. Cet effet, appelé simultanéité, constitue une grandeur de base essentielle pour le dimensionnement du réseau de distribution de chaleur et la conception des générateurs de chaleur. Le facteur de simultanéité décrit le rapport entre le besoin maximal de chaleur simultanée de tous les consommateurs de chaleur et la puissance de raccordement totale souscrite.

Dans Image 3.1 représente le facteur de simultanéité comme une fonction d'approximation en fonction du nombre de consommateurs, basée sur une enquête de 2001. [6]. Il en ressort que pour les trop petits réseaux de 10 à 20 clients thermiques, il faut compter avec une simultanéité d'environ 95%, avec une plage de dispersion comprise entre 85% et 100%. Pour les réseaux plus grands (plus de 100 clients), on peut s'attendre à une simultanéité de < 60%.

La structure effective de consommation des différents consommateurs de chaleur est toutefois décisive pour la détermination du facteur de simultanéité. Ainsi, les consommateurs de chaleur industrielle fonctionnant en permanence dans un réseau conduisent à une simultanéité plus élevée que, par exemple, un lotissement de maisons individuelles. Les dispositions des conditions techniques de raccordement (PTR), telles que les limitations de la puissance souscrite, entraînent également une simultanéité plus élevée, tandis que les consommateurs de chaleur temporaires ou saisonniers, ainsi que les puissances de raccordement abonnées en partie surestimées, réduisent la simultanéité. D'autre part, une charge de pointe saisonnière peut entraîner des facteurs de simultanéité plus élevés, ce qui peut par exemple se produire dans un réseau de chaleur avec une forte proportion d'hôtels et d'appartements de vacances pendant la période de vacances en raison d'une occupation élevée.

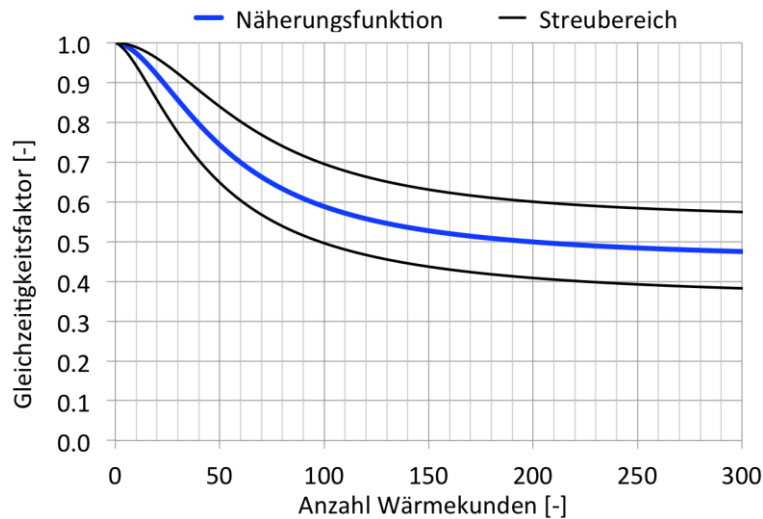


Image 3.1 Fonction d'approximation et plage de dispersion pour l'évolution du facteur de simultanéité en fonction du nombre de preneurs de chaleur selon [6].

Les **températures de départ et de retour à la température extérieure de référence** sont les températures du réseau lorsque les températures extérieures sont basses. La température extérieure de référence dépend de l'emplacement de l'installation. Les températures de départ et de retour se rapportent au point d'alimentation de la centrale thermique. Ces températures figurent en général dans les conditions techniques de raccordement.

Les **températures de départ et de retour à la température extérieure moyenne annuelle** sont les températures du réseau à la température extérieure moyenne annuelle. Les données ne diffèrent des températures de départ et de retour à la température extérieure de référence que dans la mesure où la température de départ est régulée en fonction des conditions climatiques (p. ex. mode de fonctionnement à température constante glissante). En fonction de la température extérieure moyenne annuelle sur le site de l'installation, ces températures sont généralement déduites des conditions techniques de raccordement. Les températures se réfèrent au point d'alimentation de la centrale thermique.

La **différence d'altitude entre le maintien de la pression et le point haut du réseau** est la différence d'altitude en mètres entre l'emplacement du maintien de la pression et le point le plus haut du réseau. Cette valeur est nécessaire pour déterminer la pression de service minimale.

La **différence de hauteur entre le maintien de pression et le point le plus bas du réseau** est la différence de hauteur en mètres entre l'emplacement du maintien de pression et le point le plus bas du réseau. Cette valeur est nécessaire pour déterminer la pression de service maximale admissible.

La **pression limite en cas d'incident** désigne la pression maximale, limitée par les dispositifs de sécurité, qui peut se produire à court terme dans un système (Maximum Incidental Pressure). La valeur est généralement basée sur la pression de service maximale admissible (PS) à partir de l'élément le plus défavorable (tuyauteries ou composants). Pour une estimation, il est également possible d'utiliser le niveau de pression nominale valable pour les tuyauteries et les composants tels que les brides, les vannes, les robinets-vannes et autres raccords. Dans ce cas, il faut également tenir compte de la pression nominale du composant le plus défavorable.

La **hauteur de refoulement de la station de surpression** décrit la valeur de la hauteur de refoulement de la station de **surpression** pour le cas de charge sélectionné en mètres de colonne d'eau (m_{ws}). Cette entrée est facultative et doit être réglée sur zéro si aucun dispositif d'augmentation de la pression n'est présent. Une pompe d'augmentation de la pression est définie à cet endroit est représentée dans le diagramme de pression.

La **perte de charge maximale admissible par mètre de conduite** permet d'évaluer les dimensions de la conduite.

Il est également possible de saisir des informations sur le **point le plus défavorable**. Il est recommandé de fournir des informations reconnaissables sur le point le plus défavorable, comme par exemple le nom, l'adresse et la puissance de raccordement.

3.3.2 Valeurs déduites

A partir des valeurs d'entrée générales, on **calcule des valeurs déduites** (Tableau 3.2) sont calculées et éditées.

Tableau 3.2 Dossier de travail *E1_Général* : Valeurs déduites

Valeurs déduites	Symbole	unit↕
Coûts de combustible	k_{Br}	cts/kWh
Ecart de température de dimensionnement	ΔT_N	K
écart de température moyen	ΔT_{N_m}	K
Température d'opération moyenne de dimensionnement	T_B	°C
température moyenne annuelle du fluide de service	T_{B_m}	°C
Facteur d'annuité	a	%/a

Les **Coûts du combustible** en cts/kWh se calculent comme suit à partir du prix du combustible rapporté au rendement annuel du générateur de chaleur :

$$k_{Br} = \frac{P_{Br}}{\eta_{a_WE}}$$

L'**Ecart de température de dimensionnement** en K est calculé par la différence entre la température de départ et la température de retour pour une température extérieure sur le site de l'installation :

$$\Delta T_N = T_{VL} - T_{RL}$$

L'**écart de température moyen** en K est calculé à partir de la différence entre les températures moyennes aller et retour à la température moyenne annuelle sur le site de l'installation :

$$\Delta T_{N_m} = T_{VL_m} - T_{RL_m}$$

La **température d'opération** moyenne de **dimensionnement** en °C est la valeur moyenne de la température de départ et de retour à la température extérieure d'exposition sur le site de l'installation.

$$T_B = \frac{T_{VL} + T_{RL}}{2}$$

La **température moyenne du fluide de service** en °C est la valeur moyenne des températures moyennes aller et retour pour la période d'exploitation annuelle considérée du réseau. Les températures moyennes de départ et de retour sont déterminées à l'aide de la moyenne annuelle de la température extérieure normalisée pour le site de l'installation. Si la température de départ et de retour est constante, la température moyenne de dimensionnement de l'installation correspond à la température d'opération moyenne de dimensionnement.

$$T_{B_m} = \frac{T_{VL_m} + T_{RL_m}}{2}$$

Le **facteur d'annuité** en %/a se calcule comme suit à partir de la durée et du taux d'intérêt du capital :

$$\text{für } i = 0: a = \frac{1}{n} \quad \text{für } i > 0: a = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

3.3.3 Grandeurs calculées

De plus, les principales **grandeurs calculées** issues du calcul du réseau de chauffage à distance sont éditées dans le classeur *E1_Général*. Il est ainsi possible de comparer, dans un classeur, l'entrée avec les principales grandeurs calculées et dérivées.

Les étapes de calcul pour les grandeurs calculées sont effectuées selon Tableau 3.3 est expliqué.

Tableau 3.3 Dossier de travail *E1_Général* : Grandeurs calculées

Grandeurs calculées	Symbole	unité
Longueur totale du tracé	L_{Ges}	m
Longueur du tracé point défavorable	L_{SP}	m
Densité de raccordement	AD	MWh/(a m)
Perte de pression spécifique au point le plus défavorisé	Δp_{SP}	Pa/m
Pression différentielle au-dessus de la pompe de réseau	Δp_P	bar
Hauteur de refoulement de la pompe de réseau	h_P	mWs
Débit volumique nécessaire	\dot{V}_P	m ³ /h
Puissance de la pompe nécessaire	P_P	kW
Pression maximale du réseau	p_N	bar
Puissance raccordée totale	\dot{Q}_{Tot}	kW
Puissance de raccordement avec facteur de simultanéité incluant la puissance de perte de chaleur	\dot{Q}_g	kW
Besoin en énergie des consommateurs de chaleur	Q_{WA}	MWh/a
Besoin en énergie injection réseau	Q_N	MWh/a
Puissance spécifique moyenne de perte de chaleur (par mètre de tracé)	$\dot{Q}_{V_{WE}}$	W/m
Pertes thermiques annuelles de la distribution de chaleur (par rapport à la quantité de chaleur injectée)	\dot{q}_V	%
Volume d'eau de circulation dans le réseau de distribution de chaleur	V_{WV}	m ³
Durée de refroidissement de l'eau du circuit dans le réseau de distribution de chaleur (t à $T_{VL} = T_{RL}$)	$\tau_{A_{WV}}$	Min.
Coûts d'investissement pour la distribution de chaleur	I_{WV}	CHF
Coûts d'investissement de la distribution de chaleur par mètre de tracé	$k_{Trace_{WV}}$	CHF/m
Coûts d'investissement pour la distribution de chaleur par MWh/a d'énergie utile	k_{WV_Nutz}	CHF/(MWh/a)
Nombre de raccords domestiques	n_{HA}	-
Refroidissement de l'aller jusqu'au point le plus défavorisé	ΔT_{SP}	K
Température aller au point le plus défavorisé	T_{VL_SP}	°C
Nombre de branches	n_T	-

La **longueur totale de tranchée** résulte de la somme des longueurs individuelles de chaque branche.

La **longueur de tranchée du point le plus défavorable** correspond à la somme des longueurs de chaque branche individuelle pour laquelle l'attribut "branche la plus défavorable" a été mis à 1 dans le classeur *E2_Teilstränge*.

La **Densité de raccordement** se calcule en divisant la quantité de chaleur vendue annuellement aux consommateurs de chaleur par la longueur totale du tracé du réseau de chauffage à distance.

$$AD = \frac{\dot{Q}_g \tau_{WA}}{L_{Ges}}$$

La **Perte de pression spécifique au point le plus défavorisé** donne une première indication pour le dimensionnement des conduites de chauffage à distance. On considère la perte de pression spécifique pour la branche jusqu'au point le plus défavorisé. La perte de pression d'une branche individuelle est déterminée en calculant la perte de pression pour la conduite, y compris les éléments intégrés (départ et retour). La somme des pertes de charge des différentes branches pour le point de rejet permet de déterminer la perte de charge pour le point de rejet (aller et retour confondus). Si la perte de pression pour le point le plus défavorable est divisée par la longueur des conduites d'alimentation et de retour de la branche vers le point le plus défavorable (deux fois la longueur du tracé), il en résulte la perte de pression spécifique pour le point le plus défavorable en Pa/m (par mètre de conduite).

$$\Delta p_{SP} = \frac{\Delta p_{V_SP}}{2 L_{SP}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \Delta p_{V_Ti}}{2 L_{SP}}$$

La **pression différentielle au-dessus de la pompe de réseau** se calcule à partir de la perte de charge pour le point le plus défavorable et de la perte de charge pour le raccordement. La pression différentielle au-dessus de la pompe de réseau est la pression dynamique dans le réseau qui doit être surmontée par la pompe de réseau dans le cas considéré et correspond à la perte de pression dans le réseau.

$$\Delta p_P = \Delta p_{V_SP} + \Delta p_{HA}$$

La chute de pression pour le raccordement domestique peut être définie librement comme paramètre dans l'outil d'évaluation. La valeur par défaut est de 0,8 bar ou 80'000 Pa.

Si une station de surpression est prévue dans le réseau (valeur "Hauteur de refoulement de la station de surpression" $\neq 0$), la valeur inscrite pour la hauteur de refoulement de la pompe de surpression est déduite du calcul ci-dessus pour la différence pression pompe réseau.

La **hauteur de refoulement de la pompe de réseau** est une valeur courante dans la branche pour le dimensionnement de la pompe de réseau et est la conversion de la pression différentielle de la pompe de réseau comme suit :

$$h_P = \frac{\Delta p_P}{\rho_W g}$$

Le **débit volumique** nécessaire est le débit volumique à prendre en compte dans le cas d'analyse et se calcule comme suit sur la base de la puissance thermique amenée dans le réseau de chauffage à distance et de la différence de température prévue dans le réseau de chauffage à distance à l'état de conception :

$$\dot{V}_P = \frac{\dot{Q}_{WE}}{\rho_W c_{pW} \Delta T_N}$$

La **puissance de la pompe** requise (électrique) est déterminée par le débit volumique requis, la pression différentielle, le rendement hydraulique et le rendement électrique moyens de la pompe, comme suit :

$$P_p = \frac{\Delta p_p \dot{V}_p}{\eta_{hydr} \eta_{el}}$$

Les rendements hydraulique et électrique moyens de la pompe peuvent être définis librement comme paramètres dans l'outil d'évaluation. Par défaut, une valeur de 0,8 est enregistrée pour le Rendement hydraulique moyen de la pompe et une valeur de 0,9 pour le rendement électrique moyen du moteur électrique. En résumé, la pompe présente un rendement de 0,72. La puissance électrique absorbée par la pompe dans la station de surpression n'est pas indiquée.

La **pression maximale du réseau** est une valeur importante pour dimensionner les conduites de chauffage à distance et les armatures au niveau de pression (PN) nécessaire ou pour contrôler si le niveau de pression choisi est suffisant. La pression du réseau se compose d'une partie dynamique et d'une partie statique. La pression dynamique du réseau correspond à la perte de pression dans le réseau (pression différentielle au-dessus de la pompe de réseau). La part statique correspond à la pression de service minimale qui est maintenue constante par le système de maintien de la pression et d'expansion en cas de changement de température (volume). La pression de service minimale doit être au moins égale à la pression d'évaporation du fluide de chauffage à distance utilisé (par exemple l'eau) à la température d'exposition, y compris le supplément de sécurité, et à la pression statique du fluide entre l'emplacement du maintien de pression et le point le plus haut du réseau. La pression d'évaporation à 100°C et le supplément de sécurité pour la pression de service minimale sont pré-réglés dans le dossier de travail *E3_Parameters* avec une valeur de 1.0142 bar resp. 1.0 bar.

La **Puissance raccordée totale** correspond à la somme des puissances raccordées effectives de tous les clients de chaleur.

La **puissance de raccordement avec facteur de simultanéité incluant la puissance de perte de chaleur** est la somme des puissances de raccordement effectives de tous les clients de chaleur multipliée par le facteur de simultanéité g plus la puissance de perte de chaleur totale.

$$\dot{Q}_g = \dot{Q}_{Tot} \times g + \sum \dot{Q}_{V_i}$$

Le **besoin énergétique annuel des consommateurs de chaleur** est la puissance multipliée par le facteur de simultanéité, y compris la puissance de perte de chaleur, multipliée par les heures de fonctionnement à plein régime des consommateurs de chaleur :

$$Q_{WA} = \dot{Q}_g \tau_{WA}$$

Le **besoin en énergie annuel injection** réseau est la somme du besoin en énergie des consommateurs de chaleur et des pertes de chaleur du réseau :

$$Q_N = Q_{WA} + Q_{V_a}$$

La **puissance spécifique moyenne de perte de chaleur** est la perte de chaleur totale de la distribution de chaleur par rapport à la longueur totale du tracé.

$$q_{V_{WE}} = \frac{\sum \dot{Q}_{V_i}}{L_{Ges}}$$

La **perte de chaleur de la distribution de chaleur** est une valeur spécifique exprimée en pourcentage et se réfère à la quantité de chaleur injectée annuellement dans le réseau de distribution de chaleur.

$$\dot{q}_V = \frac{\dot{Q}_V \tau_N}{\dot{Q}_g \tau_{WA} + \dot{Q}_V \tau_N} 100\%$$

Le **volume d'eau de circulation dans le réseau de distribution de chaleur** est la somme des contenus volumétriques de toutes les branches et correspond au contenu total en eau du réseau de chauffage à distance.

La **durée de refroidissement de l'eau du circuit dans le réseau de distribution de chaleur (t à $T_{VL} = T_{RL}$)** correspond à la durée en minutes en cas d'arrêt du réseau de chaleur (pas de débit volumique) et de prélèvement simultané de chaleur par les consommateurs de chaleur dans le cas de charge considéré (linéaire simplifié), jusqu'à ce que la température de départ de l'eau du circuit soit abaissée à la température de retour.

Les **coûts d'investissement pour la distribution de chaleur** sont la somme des coûts d'investissement pour toutes les branches selon le type de conduite choisi et le type de terrain.

Le **coût d'investissement de la distribution de chaleur par mètre de tracé** est le rapport entre le coût d'investissement de la distribution de chaleur et la longueur totale du tracé des conduites de chauffage à distance installées (mètres de tracé des conduites principales, des conduites de dérivation et des conduites de raccordement aux bâtiments).

Les **coûts d'investissement de la distribution de chaleur par MWh/a d'énergie utile** sont le rapport entre les coûts d'investissement de la distribution de chaleur et les besoins annuels en énergie utile des consommateurs de chaleur.

Le **nombre de raccords** correspond au nombre de branches pour lesquelles l'attribut "puissance de raccordement" est supérieur à 0 dans le classeur *E2_Teilstränge*.

Le **refroidissement de la température d'aller** jusqu'au point le plus défavorable est la somme des différences de température individuelles dans les différentes branches de la branche jusqu'au point le plus défavorable défini.

La **température de départ au point le plus défavorable** se calcule à partir de la différence entre la température d'injection dans le réseau de chaleur et le refroidissement calculé de la température de départ jusqu'au point le plus défavorable.

$$T_{VL_SP} = T_{VL} - \Delta T_{SP}$$

Le **nombre de branches du réseau** est la somme de toutes les sous-branches.

La Image 3.2 montre un exemple de classeur *E1_Allgemeinl*.

Données de dimensionnement		
Rendement annuel de la production de chaleur (centrale)	%	85%
Nombre d'heures de fonctionnement à pleine charge des consommateurs	h/a	2 200
Nombre d'heures de fonctionnement du réseau	h/a	8760
Facteur de simultanéité	-	1
Température aller si la température extérieure sur site est la température de dimensionnement	°C	80
Température retour si la température extérieure sur site est la température de dimensionnement	°C	50
Température aller variable en fonction de la température extérieure moyenne sur site	°C	80
Température retour variable en fonction de la température extérieure moyenne sur site	°C	50
Différence de hauteur pour le maintien en pression du point le plus au du réseau	m	0
Différence de hauteur pour le maintien en pression du point le plus bas du réseau	m	0
Prix du combustible :	cts/kWh	5.00
Prix de l'électricité	cts/kWh	20.00
Durée	a	30
Taux d'intérêt	%/a	3.00%
Pression limite en cas de panne	bar	18
Hauteur de refoulement - station de surpression (optionnel, sans = 0)	m/w/s	0
Pertes de charges maximales autorisées par mètre de conduite	Pa/m	300
Point le plus défavorisé (par ex. le consommateur le plus éloigné)		
Musterhaus, Musterstrasse 1, Musterlingen, 23 kW		
Valeurs déduites		
Coûts de combustible	cts/kWh	5.88
Ecart de température de dimensionnement	K	30
Ecart de température moyenne annuelle variable	K	30
Température d'opération moyenne de dimensionnement	°C	65
Température d'opération moyenne annuelle variable	°C	65
facteur d'annuités	%/a	5.10%
Valeurs calculées		
Longeur totale du tracé	m	2 614
Longeur du tracé jusqu'au point le plus défavorisé	m	1432
Densité de raccordement	MWh/(a.m)	0.5
Perte de pression spécifique au point le plus défavorisé	Pa/m	61
Pression différentielle de la pompe du réseau	bar	2.5
Hauteur de refoulement de la pompe réseau	m/w/s	26.3
Débit volumique nécessaire	m ³ /h	18.1
Puissance de la pompe nécessaire	kW	1.8
Pression maximale du réseau	bar	4.6
Puissance raccordée totale	kW	620
Puissance raccordée avec taux de foisonnement y compris puissance des pertes thermiques	kW	679
Besoin en énergie des consommateurs	MWh/a	1364
Besoin en énergie injection réseau	MWh/a	1878
Puissance de pertes thermiques moyenne spécifique (par mètre de tracé)	W/m	22.4
Pertes thermiques annuelles de la distribution de chaleur (par rapport à la quantité de chaleur injectée)	%	27.4%
Volume d'eau dans le circuit de distribution	m ³	18.11
Durée de refroidissement de l'eau du circuit de distribution (t jusqu'à ce que T _{aller} = T _{retour})	min	30.02
Coûts d'investissement de la distribution de chaleur	CHF	1 349 618
Coûts d'investissement de la distribution de chaleur par mètre de tracé	CHF/(m Trasse)	516
Coûts d'investissement de la distribution de chaleur par MWh/a énergie utile	CHF/(MWh/a)	989
Nombre de raccords	-	3
Refroidissement de l'aller jusqu'au point le plus défavorisé	K	7.3
Température aller au point le plus défavorisé	°C	72.7
Nombre de brins du réseau	-	7

Image 3.2 Exemple de présentation du classeur *E1_Allgemein*

3.4 Dossier de travail *E2_Teilstränge*

Les différentes branches sont saisies dans le classeur *E2_Teilstränge*. Une branche est définie comme un tronçon de conduite sans modification du diamètre nominal et sans sortie ou ramification.

Dans un premier temps, les branches sont définies à l'aide du plan de tracé et numérotées de manière continue. La numérotation peut en principe se faire de manière arbitraire. Il est toutefois recommandé de procéder avec une logique. Il s'est avéré utile de commencer la numérotation par la première branche principale à partir de la centrale. Dans un deuxième temps, les attributs de chaque branche sont listés.

Tableau 3.4 Saisie des branches partielles: attributs des branches partielles

Attributs des branches i	Symbole	unité
Puissance du raccordement	\dot{Q}_{HA}	kW
Raccordement à la conduite	-	-
Type de conduite	-	-
Diamètre nominal	DN	-
Épaisseur d'isolation	DS	-
Longueur du tracé	L_{Ti}	m
Type de terrain	-	-
Branche du client le plus défavorable (Non = 0 ; Oui = 1)	T_{SP}	-
Augmentation de la pression (Non = 0 ; Oui = 1)	T_{DES}	-
Coefficient de résistance des éléments encastrés dans la branche	ζ_{Ti}	-

La **puissance du raccordement** est l'indication de la puissance requise pour le client au numéro de branche correspondant. Il convient de noter que pour les réseaux de chaleur existants comme pour les nouveaux, les puissances souscrites par les consommateurs sont assorties de marges de sécurité et sont souvent trop élevées. Ces données doivent être examinées de manière critique et leur plausibilité doit être vérifiée. En outre, il faut veiller à ce que les besoins en puissance pour l'eau chaude ne soient pas pris en compte lors des commutations prioritaires de l'eau chaude. Les deux phénomènes mentionnés ci-dessus conduisent inévitablement à des diamètres nominaux surdimensionnés.

S'il n'y a pas de raccordement de consommateur, il s'agit soit de deux branches partielles successives soit la branche principale se ramifie. Ceci est indiqué dans la colonne **raccordement à la conduite**.

Séparés par des virgules s'il y en a plusieurs les numéros de branche suivantes doivent être indiqués. La puissance de la conduite principale ou de dérivation est calculée automatiquement dans THENA.

En se basant sur l'exemple de la Image 3.3 et Tableau 3.5 la relation entre *la puissance consommateur* et *la connexion à la conduite* est expliquée. Dans l'exemple, un générateur de chaleur (WE) et cinq consommateurs de chaleur à partir de (1-5) sont représentés sous la forme d'un réseau. Les différentes branches partielles sont numérotées en continu à partir de la centrale de chaleur (T1-T9). Les différentes dérivations (réseaux partiels) sont numérotées jusqu'à la fin. Dans l'exemple, il y a deux ramifications (réseaux partiels) de T2 à T6 et de T7 à T9.

Pour la saisie des deux attributs *Puissance du raccordement* et *Connexion à la conduite*, on commence par le raccordement le plus éloigné. La branche de T7-T9 est considérée comme exemple. Le raccordement pour le consommateur de chaleur 4 (branche 9) a une puissance de raccordement de 15 kW et le raccordement pour le consommateur de chaleur 5 (branche 8) a une puissance de raccordement de 10 kW. Les deux valeurs sont inscrites dans la colonne *Puissance du raccordement* pour la branche correspondante. La branche 7 est une dérivation avec les deux raccordements domestiques des preneurs de chaleur 4 et 5 (branches 8 et 9). Il faut donc saisir la valeur 8, 9 dans la colonne Raccordement à la conduite. Lors de la saisie, une virgule doit impérativement être placée entre les différents numéros de branche, mais un espace après la virgule n'est pas obligatoire. Dans la colonne *Puissance de la conduite principale ou de dérivation*, la puissance de transfert thermique pour la conduite principale ou de dérivation est calculée automatiquement.

Dans le dossier de travail E2_Teilstränge, un contrôle est effectué dans la dernière colonne pour le contrôle des deux attributs *Puissance du raccordement* et *Connexion à la conduite*. Le champ doit être surligné en vert.

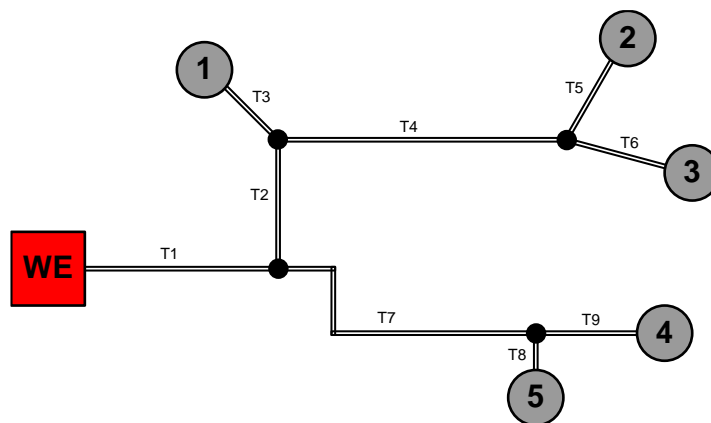


Image 3.3 Représentation schématique pour la numérotation des branches.

Tableau 3.5 Exemple de saisie de la puissance du branchement et des conduites de dérivation et de présentation des puissances calculées pour les conduites de dérivation.

Branche	Description	Puissance de la connexion domestique kW	no Ligne de connexion Ex : 2, 3	Puissance de la conduite principale ou de dérivation
				kW
1	Branche principale		2, 7	55
2	Branche principale		3, 4	30
3	Conduite de raccordement domestique du consommateur de chaleur 1	10		0
4	Branche principale		5, 6	20
5	Conduite de raccordement domestique du consommateur de chaleur 2	12		0
6	Conduite de raccordement domestique du consommateur de chaleur 3	8		0
7	Branche principale		8, 9	25
8	Conduite de raccordement de l'utilisateur de chaleur 5	10		0
9	Conduite de raccordement de l'utilisateur de chaleur 4	15		0

Pour l'attribut **Type de conduite**, le choix suivant est disponible via un menu déroulant :

- **KMR** : Métal pré-isolé - tube médian rigide en acier / tube simple
- **KMR-Duo** : Métal pré-isolé double - tube médian rigide en acier / tube double
- **PMR** : Flexible plastique - tube médian flexible en plastique / tube simple
- **PMR-Duo** : Flexible plastique double - Tube médian flexible en plastique / Tube double
- **MMR glatt** : Flexible métal lisse - Tube médian flexible et lisse en acier / tube simple
- **MMR-Duo glatt** : Flexible métal lisse double - Tube médian flexible et lisse en acier / tube double
- **MMR gewellt** : Flexible métal ondulé - Tube médian flexible ondulé en acier / tube simple
- **MMR-Duo gewellt** : Flexible métal ondulé double - Tube médian flexible et ondulé en acier / double tube

Pour le type de conduite MMR, il existe deux versions fondamentalement différentes de la conduite. Soit le tube présente une surface lisse similaire à celle du métal pré-isolé, soit il est constitué d'un tube ondulé. Cette distinction pour le type de conduite MMR est nécessaire pour pouvoir calculer correctement la perte de charge, car les tubes ondulés génèrent une perte de charge plus élevée que les tubes lisses.

Pour le Diamètre nominal, les diamètres nominaux courants disponibles sur le marché peuvent être sélectionnés via un menu déroulant (Tableau 3.6). Les produits des entreprises suivantes ont été pris en compte : Brugg Pipesystems, Isoplus Schweiz AG et Logstor.

Tableau 3.6 Diamètres nominaux disponibles de série (sur fond gris) pour les KMR, MMR, PMR avec indication de l'épaisseur d'isolation et de la version du tube duo pour les produits de Brugg pipesystems, Isoplus et Logstor.

DS : épaisseurs d'isolation métal pré-isolé (KMR), par ordre croissant de 1 à 3.

S : isolation standard pour MMR et Flexible plastique ; V : isolation renforcée pour MMR et Flexible plastique.

DN	Métal pré-isolé			Métal pré-isolé double			Flexible métal		Flexible métal double		Flexible plastique		Flexible plastique double	
	DS1	DS2	DS3	DS1	DS2	DS3	S	V	S	V	S	V	S	V
20														
25														
32														
40														
50														
65														
80														
100														
125														
150														
200														
250														
300														
350														
400														
450														
500														
600														
700														
800														
900														
1000														

L'épaisseur **d'isolation** est l'épaisseur de la couche d'isolation pour le type de conduite choisi, définie comme un nombre sans dimension. L'épaisseur de la couche d'isolation varie en fonction du type de conduite, du système de tuyauterie et de la dimension nominale. Pour les tubes métal pré-isolé, des épaisseurs d'isolation de 1 à 3 sont proposées, l'épaisseur d'isolation 1 étant la plus mauvaise et l'épaisseur d'isolation 3 la meilleure. Pour les tubes Flexible métal et Flexible plastique, une épaisseur d'isolation standard (S) et une épaisseur d'isolation renforcée (V) sont généralement disponibles. Dans la THENA, l'épaisseur d'isolation standard est définie comme 1 et l'épaisseur d'isolation renforcée comme 2 (Tableau 3.6).

La **longueur du tracé** est la longueur de la tranchée pour la pose de la conduite d'alimentation et de retour.

Le **type de terrain** tient compte des coûts par mètre de tracé lors de la pose et fait la distinction entre la pose dans le secteur routier (route) ou en plein champ (terrain). Les coûts sont indiqués et peuvent être adaptés à la situation si nécessaire. Le tableau Tableau 3.9 indique les prestations comprises dans les prix indicatifs mentionnés dans les données relatives aux conduites.

L'attribut **Branche la plus défavorable** permet d'attribuer la valeur 1 à la branche qui, en tant que tronçon de conduite, fait partie de la conduite allant de la centrale thermique au point le plus défavorable (en règle générale, le consommateur de chaleur le plus éloigné). Toutes les autres branches ont une valeur de 0. Cette valeur permet de déterminer la longueur du tracé et la perte de charge de la centrale thermique jusqu'au point et de les représenter graphiquement dans des diagrammes (dossier de travail *A2_Grafiken*).

L'attribut **augmentation de pression** attribue la valeur 1 à la branche où se trouve la station d'augmentation de pression. Toutes les autres branches ont une valeur de 0. Cette valeur permet de rendre visible la station de surpression dans le diagramme de pression et de la prendre en compte dans le calcul de la pression différentielle au-dessus de la pompe de réseau.

Le **Coefficient de résistance des éléments encastrés dans le tronçon (Valeur Zeta)** tient compte des résistances individuelles telles que coudes, diffuseurs, vannes, etc. qui, en plus de la résistance à l'écoulement dans le tuyau, provoquent des pertes de pression. Le coefficient de résistance des installations peut être saisi pour chaque branche comme la somme des résistances individuelles pour l'aller et le retour. Parmi les deux nœuds possibles d'une branche partielle, seul le nœud final doit être pris en compte (bifurcation, passage, rétrécissement, etc.).

Exemple : une branche de DN 100 bifurque d'une autre branche (DN 125). Comme mentionné, le nœud initial n'est pas à prendre en compte. Jusqu'au nœud final, il y a dans cette branche deux coudes à 90°, une vanne à passage droit et, au nœud final, la branche se ramifie en deux autres branches partielles. Dans le Tableau 3.7 on trouve pour l'exemple de la Image 3.4 les valeurs supposées pour les résistances individuelles selon [8] ainsi que pour l'embranchement selon la norme Image 3.5 (dérivation). La valeur totale pour l'aller et le retour doit être saisie dans le champ de saisie de l'outil d'évaluation - dans l'exemple, la valeur zêta Total = 5,3.

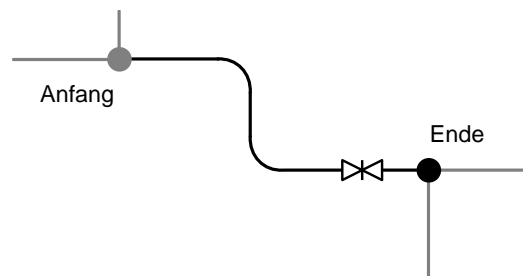


Image 3.4 Représentation schématique pour le Coefficient de résistance des éléments encastrés dans le tronçon (Valeur Zeta). Dans cet exemple, il faut tenir compte de deux coudes à 90°, d'une vanne à passage droit et de la bifurcation au nœud final.

Tableau 3.7 Exemple numérique pour les coefficients de résistance des éléments encastrés selon [7] et [8] pour la branche selon Image 3.4.

Résistance individuelle	Valeur zêta		
	Aller	Retour	Total
Coude à 90° 1	0.3	0.3	0.6
Coude à 90° 2	0.3	0.3	0.6
Vanne avec passage droit	0.3	0.3	0.6
Branchement	2	1.5	3.5
Total	2.9	2.4	5.3

Bernd Glück a fourni de plus amples informations sur les résistances individuelles et en particulier sur les éléments de tuyauterie (bifurcations et jonctions) dans son livre Hydrodynamische und gasdynamische Rohrströmung sur (voir [8] page 458 et suivantes). La figure suivante (Image 3.5) en est extraite et décrit des hypothèses simplifiées pour les coefficients de résistance individuels de canalisations à angle droit et à arêtes vives, applicables aux calculs approximatifs.

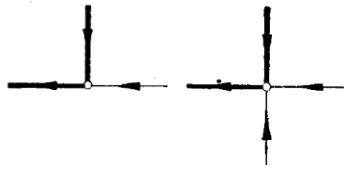
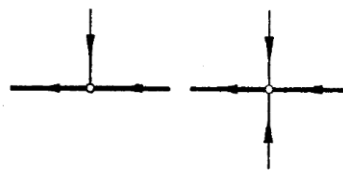

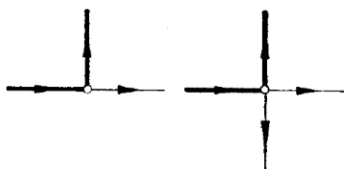


	Abzweig	Durchgang	Gegenlauf
Vereinigung	 $\zeta_a = 1,5$	 $\zeta_d = 1$	 $\zeta_a = 8$
Trennung	 $\zeta_a = 2$	 $\zeta_d = 0,2$	 $\zeta_a = 3$
Vereinigung + Trennung	$\zeta_a = 3,5$	$\zeta_d = 1,2$	$\zeta_a = 11$

Image 3.5 Hypothèses simplifiées pour les coefficients de résistance individuels de ramifications de tuyaux à angle droit et à arêtes vives, applicables aux calculs approximatifs selon [8].

On renoncera ici à une énumération plus détaillées des différentes équations de calcul pour les éléments de tuyauterie. Outre les sources mentionnées ci-dessus, les sources suivantes sont recommandées pour l'estimation des coefficients de perte des éléments de tuyauterie les plus courants : Wagner [13] et Böswirth [10] ainsi qu'en anglais par Idelchik [14].

Dans Image 3.6 montre un exemple de dossier de travail *E2_Teilstränge*.

Données sous-conduites

Hypothèses pour les calculs

#NV

Projet :	Exemple de réseau
Variante :	Exemple variante 1
Fournisseur :	M. Tout le monde
Date :	30.07.2024

Branche	Puissance du raccordement OU Raccordement à la conduite	Puissance de la conduite principale ou de dérivation	Type de conduite	Diamètre nominal	Epaisseur d'isolation	Longueur de tracé	Situation de pose	Branche du consommateur le plus défavorisé	Position de la montée en pression	Coefficient de résistance des éléments encastrés dans le tronçon	Contrôle des données d'entrée	
-	kW	Ex. 3.5 kW	-	DN	1, 2, 3	m	Flur/Strasse	Non = 0 oui = 1	Non = 0 oui = 1	-	-	
1		2.6	620.0	KMR	80	2	400.0	Flur	1	0	0	1
2		3.4	170.0	KMR	80	2	320.0	Flur	1	0	0	1
3	130.0		0.0	KMR	32	2	400.0	Flur	0	0	0	1
4		5	40.0	KMR	65	2	250.0	Flur	1	0	0	1
5	40.0		0.0	KMR	25	2	462.0	Flur	1	0	0	1
6		7	450.0	KMR	80	2	320.0	Flur	0	0	0	1
7	450.0		0.0	KMR	65	2	462.0	Flur	0	0	0	1
8			0.0									0

Image 3.6 Exemple de représentation du classeur E2_Teilstränge

3.5 Dossier de travail *E3_Parameter*

Pour les calculs, les paramètres suivants sont donnés comme valeurs par défaut (Tableau 3.8). Les valeurs peuvent être adaptées en conséquence pour d'autres conditions. Par sécurité, les valeurs par défaut sont enregistrées dans une colonne séparée et peuvent être copiées si nécessaire.

Tableau 3.8 Paramètres.

Paramètres	Symbole	unité	Valeur
Conductivité thermique de l'isolation	λ_D	W/(m K)	0.03
Conductivité thermique du sol*	λ_{Bo}	W/(m K)	1.2
Profondeur de la conduite*	$h_{\bar{U}}$	m	0.6
Distance entre les conduites*	a	m	0.2
Température du sol (moyenne annuelle, par exemple)*.	T_{Bo}	°C	10
Rugosité de la conduite interieure	k	mm	0.01
Capacité thermique de l'eau à 60°C	c_{pW}	J/(kg K)	4'183
Densité de l'eau à 60°C	ρ_W	kg/m ³	983
Viscosité cinématique Eau à 60°C	ν_W	m /s ²	4.74x10 ⁻⁷
Pression de vaporisation à la température de dimensionnement (voir tableau)	p_D	bar	1.0142
Réduction de sécurité Pression de service maximale autorisée	p_{S_Max}	bar	1.0
Coefficient de sécurité - pression opérationelle minimale	p_{S_Min}	bar	1.0
Rendement hydraulique de la pompe	η_{hydr}	%	80%
Rendement électrique de la pompe	η_{el}	%	90%
Rendement de la pompe (en cours de calcul)	η_P	%	72%
Différence de pression - raccordement	Δp_{HA}	Pa	80'000
Accélération de chute	g	m/s ²	9.81

Remarque sur les valeurs marquées d'un * :

Ces valeurs ont une influence directe sur le calcul des pertes thermiques spécifiques par mètre de tracé de tuyauterie en W/(m K) pour les conduites individuelles et correspondent aux indications fournies dans la Image 3.7.

Les valeurs par défaut de la perte de chaleur spécifique par mètre de tracé de la conduite peuvent également être adaptées directement dans les données de la conduite.

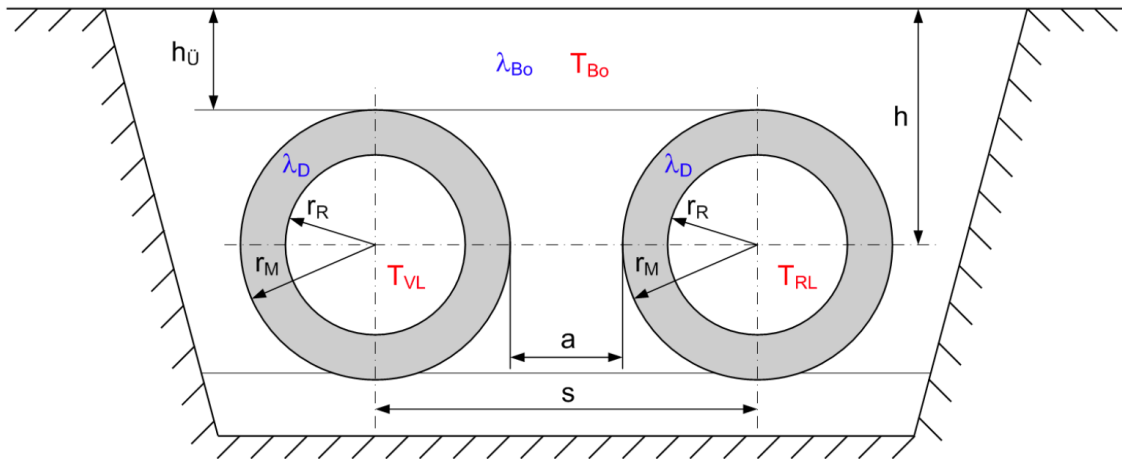


Image 3.7 Représentation schématique de tubes de chauffage à distance enterrés en version monotube.

La Image 3.8 montre un exemple de dossier de travail *E3_Parameter*.

Paramètre d'entrée

Hypothèses pour les calculs

Paramètre d'entrée (E3) selon QM chauffage à distance (valeur par défaut)

THEMA_V13_CHF_DE-FR

Projet : Exemple de réseau
Variante : Exemple variante 1

Fournisseur : M. Tout le monde
Date : 30.07.2024

Description	unité	Valeur	Valeur par défaut	Remarque à propos de la valeur par défaut
Conductivité thermique de l'isolation	W/(m K)	0.03	0.03	Seulement pour le calcul de conduites uniques
Conductivité thermique du sol	W/(m K)	1.2	1.2	
Hauteur de recouvrement	m	0.6	0.6	
Distance entre les conduites	m	0.2	0.2	
Température du sol	°C	10	10	
Rugosité de la conduite interieure	mm	0.01	0.01	
Capacité thermique de l'eau	J/(kg K)	4 183	4 183	Eau à 60°C
Densité de l'eau	kg/m³	983	983	Eau à 60°C
Viscosité de l'eau	m²/s	4.74E-07	4.74E-07	Eau à 60°C
Pression de vapeur à la température de dimensionnement	bar	1.0142	1.0142	Eau à 100 °C
Coefficient de sécurité - pression opérationelle maximale	bar	1.0	1.0	
Coefficient de sécurité - pression opérationelle minimale	bar	1.0	1.0	
Rendement hydraulique de la pompe	%	80.0%	80.0%	
Rendement électrique de la pompe	%	90.0%	90.0%	
Rendement de la pompe	%	72.0%	72.0%	calculé
Différence de pression - raccordement	Pa	80 000	80 000	0.7 à 1.0 bar (70'000 à 100'000 Pa)
Accélération de chute	m/s²	9.81	9.81	

Image 3.8 Exemple de représentation du classeur *E3_Parameter* (le champ pour les descriptions supplémentaires n'est pas représenté).

3.7 Dossiers de travail sur les données des conduites

Dans THENA, les données relatives à chaque système de conduite sont regroupées dans des classeurs séparés conformément au Tableau 3.10.

Pour les conduites individuelles, la perte de chaleur spécifique en $W/(m K)$ est calculée. Les calculs présentés dans le manuel de planification du chauffage à distance au chapitre 7.1.3 sont utilisés pour ce calcul.

Pour les conduites à double tube, la perte de chaleur spécifique par mètre de tracé de conduite provient des fabricants de tubes et n'est pas calculée.

Les données des tuyaux des produits de Brugg Pipesystems, Isoplus et Logstor sont prises en compte. Les systèmes suivants sont définis dans THENA :

- **KMR :** Métal pré-isolé - tube médian rigide en acier / tube simple
- **KMR-Duo :** Métal pré-isolé double - tube médian rigide en acier / tube double
- **PMR :** Flexible plastique - tube médian flexible en plastique / tube simple
- **PMR-Duo :** Flexible plastique double - Tube médian flexible en plastique / Tube double
- **MMR glatt :** Flexible métal lisse - Tube médian flexible et lisse en acier / tube simple
- **MMR-Duo glatt :** Flexible métal lisse double - Tube médian flexible et lisse en acier / tube double
- **MMR gewellt :** Flexible métal ondulé - Tube médian flexible ondulé en acier / tube simple
- **MMR-Duo gewellt :** Flexible métal ondulé double - Tube médian flexible et ondulé en acier / double tube

Les conduites flexibles en métal (MMR) existent avec des conduites internes à milieu lisse ou ondulé (tube ondulé). Le coefficient de résistance de l'écoulement du tube λ pour un tube ondulé (Image 3.9) est similaire à celui du tube lisse dans la zone laminaire. Les données relatives aux relations λ dans les zones turbulentes sont rares dans la littérature. Surtout, la dépendance Re n'est pas assurée dans tout le domaine techniquement pertinent (cf. [8] et voir dans le manuel de planification du chauffage à distance [5] page 132).

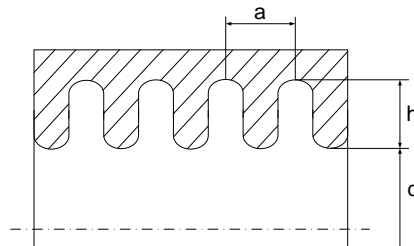


Image 3.9 Coupe d'un tube ondulé avec les dimensions nécessaires pour le calcul de la résistance du tube.

L'augmentation du coefficient de résistance du tube λ pour $Re > 4 \times 10^4$ est typique de l'écoulement turbulent dans les tubes ondulés. Ce phénomène est attribué à la formation de différentes formes de tourbillons (tourbillons primaires et secondaires) dans les protubérances des parois. Pour des raisons de fabrication, les tubes ondulés ont généralement la forme d'un filet. De ce fait, le fluide est soumis à un mouvement de rotation en plus du mouvement axial. Cette influence sur le comportement de résistance est toutefois minime. L'intensité de la rotation est toutefois importante pour le transfert de chaleur, car elle peut empêcher les "zones d'eau morte" dans les rainures. Pour des nombres de Reynolds identiques, les tuyaux ondulés présentent une résistance bien plus grand λ (facteur 2 à 15 fois plus grand). Pour que la perte de charge spécifique par mètre de tracé ne soit pas trop grande, les tuyaux ondulés doivent généralement être conçus avec une à deux dimensions nominales de plus que les tuyaux lisses (cf. [8]).

La Image 3.10 représente les coefficients de résistance des tuyaux λ pour les tuyaux saisis dans THENA à des vitesses d'écoulement maximales ou pour une perte de charge spécifique de 300 Pa/m. Les tuyaux ondulés présentent en moyenne un coefficient de résistance des tuyaux presque trois fois supérieur.

Dans THENA, lors de l'utilisation de conduites flexible métal, une demande est faite pour savoir si le tube du milieu est lisse et ondulé. Cela permet de s'assurer que la perte de charge est correctement prise en compte.

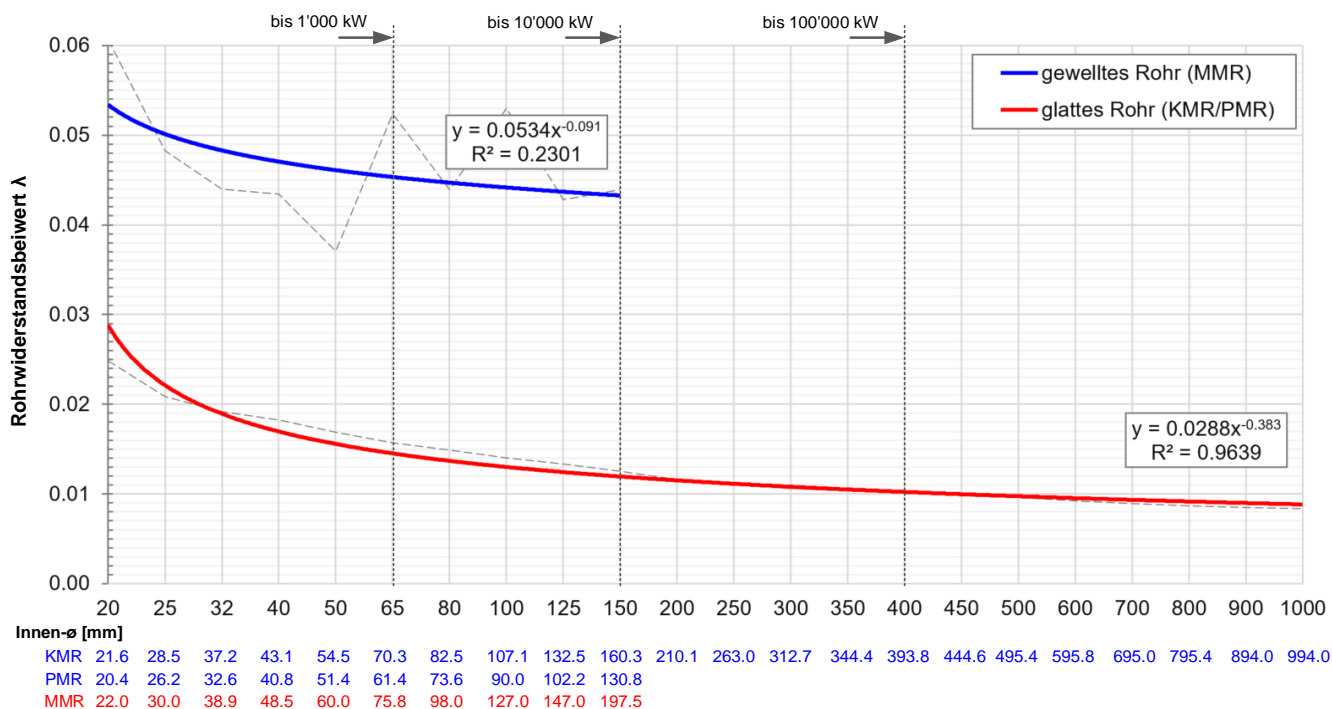


Image 3.10 Coefficients de résistance des tubes pour flexible métal ondulé (bleu) et métal pré-isolé/Flexible plastique (rouge) à des vitesses d'écoulement maximales ou pour une perte de charge spécifique de 300 Pa/m.

Les prix prédéfinis dans les dossiers de travail s'entendent comme des prix indicatifs. Etant donné que les prix des matériaux et de la main-d'œuvre évoluent constamment et que le processus de planification entre l'étude préliminaire et la mise en œuvre des réseaux de chaleur peut durer plusieurs années, il convient de tenir compte des éventuelles adaptations de coûts en cours de réalisation. Pour les travaux de génie civil, des différences saisonnières sont en outre possibles. Les prix indicatifs prédéfinis comprennent les prestations selon le tableau 3.9. Les prix ainsi que toutes les autres données relatives aux conduites peuvent être personnalisés.

Tableau 3.9 Récapitulatif des prestations comprises pour les prix indicatifs des conduites de chauffage à distance figurant dans les dossiers de travail.

Matériaux et pose	Travaux de creusement	Remarques :
<ul style="list-style-type: none"> - Aller et retour de 1 m chacun - 1/10 Part du prix de la feuille - 5 % de pièces en T - 1/6 Part du prix des manchons - 10 % pour les joints de maçonnerie, les zones de dilatation, les supports de tuyaux et le matériel de soudage - 1/100 de part de prix pour l'installation de surveillance, la pose et le soudage des tuyaux - Test de pression 	<ul style="list-style-type: none"> - Excavation selon les documents - 30 % Évacuation des matériaux d'excavation - Reponsable du projet - Ensabler les tuyaux - Remplissage de la tranchée - Restaurer la surface de la terre - Revêtements routiers 	<ul style="list-style-type: none"> DN20 - DN150 Épaisseur d'isolation 3 DN200 - DN250 Épaisseur d'isolation 2 Ne sont pas inclus dans le prix - Radiographie des soudures - Déplacement de conduites d'usine - Éperonnage de la tranchée - Règles de circulation

Tableau 3.10 Données des systèmes de tuyaux

Date :	unit	Remarques :
Diamètre extérieur du tube médian	mm	Données du catalogue
Épaisseur de la conduite	mm	Données du catalogue
Diamètre intérieur du tube médian	mm	Données de catalogue ou calcul
Volume du tube médian	l/m	Calcul
Diamètre extérieur Épaisseur d'isolation 1 (DS1)	mm	Données du catalogue
Diamètre extérieur Épaisseur d'isolation 2 (DS2)	mm	Données du catalogue
Diamètre extérieur Épaisseur d'isolation 3 (DS3)	mm	Données du catalogue
Perte de chaleur spécifique par mètre de tracé DS1	W/(m K)	Données du catalogue ou calculées
Perte de chaleur spécifique par mètre de tracé DS2	W/(m K)	Données du catalogue ou calculées
Perte de chaleur spécifique par mètre de tracé DS3	W/(m K)	Données du catalogue ou calculées
Coûts d'investissement spécifiques par mètre de tracé pour terrain	CHF/m	Prix indicatifs selon Tableau 3.9
Coûts d'investissement spécifiques par mètre de tracé pour route	CHF/m	Prix indicatifs selon Tableau 3.9
Conduite ondulée - profondeur tranchée h (tubes MMR uniquement)	mm	Indications du fabricant (Image 3.9)

La Image 3.11 montre le dossier de travail pour les conduites de type métal pré-isolé.

Dimension nominale	Diamètre extérieur	Épaisseur de la conduite	Diamètre intérieur	Volume de la conduite interne	Niveau d'isolation 1 (NI1)	Niveau d'isolation 2 (NI2)	Niveau d'isolation 3 (NI3)	Pertes thermiques spécifiques par mètre de tracé (NI1)	Pertes thermiques spécifiques par mètre de tracé (NI2)	Pertes thermiques spécifiques par mètre de tracé (NI3)	Sol	Rue
	mm	mm	mm	l/m	mm	mm	mm	W/(m K)	W/(m K)	W/(m K)	CHF/m	CHF/m
20	26.9	2.7	21.6	0.37	90	110	125	0.284	0.248	0.229	373	473
25	33.7	2.6	28.5	0.64	90	110	125	0.342	0.291	0.266	379	479
32	42.4	2.6	37.2	1.09	110	125	140	0.354	0.317	0.290	411	511
40	48.3	2.6	43.1	1.46	110	125	140	0.403	0.356	0.322	429	529
50	60.3	2.9	54.5	2.33	125	140	160	0.450	0.398	0.350	484	599
65	76.1	2.9	70.3	3.88	140	160	180	0.527	0.446	0.393	535	650
80	89.9	3.2	82.5	5.35	160	180	200	0.547	0.469	0.416	605	745
100	114.3	3.6	107.1	9.01	200	225	250	0.576	0.490	0.432	780	920
125	139.7	3.6	132.5	13.79	225	250	280	0.663	0.562	0.482	965	1105
150	168.3	4.0	160.3	20.18	250	280	315	0.777	0.633	0.531	1157	1332
200	219.1	4.5	210.1	34.67	315	355	400	0.844	0.670	0.555	1381	1586
250	273.0	5.0	263.0	54.33	400	450	500	0.820	0.656	0.556	1899	2124
300	323.9	5.6	312.7	76.80	450	500	580	0.933	0.744	0.578	2417	2662
350	355.6	5.6	344.4	93.16	500	560	630	0.912	0.719	0.589	2935	3200
400	406.4	6.3	393.8	121.80	560	630	730	0.964	0.744	0.579	3453	3738
450	457.2	6.3	444.6	155.25	630	670	800	0.970	0.839	0.605	3971	4276
500	508.0	6.3	495.4	192.75	710	800	900	0.941	0.728	0.595	4489	4814
600	610.0	7.1	595.8	278.80	800	900	1000	1.125	0.836	0.679	5007	5352
700	711.0	8.0	695.0	379.37	900	1000	1100	1.266	0.938	0.761	5525	5890
800	813.0	8.8	795.4	496.89	1000	1100	1200	1.409	1.042	0.842	6043	6428
900	914.0	10.0	894.0	627.72	1100	1200	#NV	1.542	1.141	#NV	6561	6966
1000	1016.0	11.0	994.0	776.00	1200	1300	#NV	1.678	1.241	#NV	7079	7504

Image 3.11 Exemple de présentation du dossier de travail pour les conduites de type métal pré-isolé

4 Résultats

L'évaluation se fait sur la base des données saisies dans les classeurs E1 à E3. Dans le classeur *E1_Allgemein*, les principales grandeurs déduites et calculées sont déjà présentées sous forme de tableau. Il est ainsi possible de modifier facilement les données d'entrée (p. ex. un autre cas de charge) et d'évaluer directement le résultat sur la même page.

En outre l'évaluation des principales corrélations s'effectue dans les classeurs *A1_Teilstränge* et *A2_Grafiken* à l'aide de valeurs tabulaires et de représentations graphiques.

4.1 Dossier de travail *A1_Teilstränge*

Les données du classeur *E2_Teilstränge* sont préparées et transférées dans le classeur *A1_Teilstränge*. En outre, pour chaque branche partielle, des informations sont fournies selon Tableau 4.1 (voir Image 4.2).

Tableau 4.1 Saisie des branches : Evaluation

Evaluation de la Branche	Symbole	unité
Diamètre nominal optimal	DN_{opt}	-
Dimensionnement de la branche	-	-
Ecart avec l'optimum (en nombre de DN) en nombre de dimensions nominales	n_{opt}	-
Perte de pression par mètre de conduite	Δp_T	Pa/m
Taux d'utilisation hydraulique (pourcentage)	η_{hydr_T}	%
Taux d'utilisation hydraulique (Visualisation)		-

La cellule **Diamètre nominal** optimal indique le diamètre nominal optimal pour le cas de charge défini. Le dimensionnement du diamètre nominal ne doit être évalué que pour le cas de conception ou pour la situation extrême en cas de temps très froid et de forte occupation (facteur de simultanéité élevé). Dans les cas où la charge thermique est faible, le réseau est en principe surdimensionné.

Le **Dimensionnement de la branche** permet d'évaluer la dimension nominale de la branche. Lors de l'évaluation, la perte de charge par mètre de longueur de conduite dans la branche est calculée pour chaque diamètre nominal du type de conduite correspondant et comparée à la perte de charge maximale par mètre de longueur de conduite. L'évaluation suivante peut être obtenue pour chaque branche individuelle :

- "trop petit": le diamètre nominal du tube est trop petit ou la perte de pression par mètre de conduite est trop élevée et un diamètre nominal plus grand est nécessaire.
- "ok": la dimension nominale du tuyau est optimale. La perte de pression par mètre de conduite se situe dans la plage optimale.
- "trop grand": la dimension nominale du tube est trop grande ou la perte de pression par mètre de conduite est trop faible et un diamètre nominal plus faible serait possible.

Dans le manuel de planification QM Chauffages au bois [9] il est recommandé de concevoir une pression spécifique moyenne à partir de 150 à 200 Pa/m pour le point le plus défavorable. Dans la plupart des cas, le

point correspond à la conduite de chauffage à distance allant de la centrale thermique à l'utilisateur de chaleur le plus éloigné du réseau.

En raison de l'échelonnement irrégulier des dimensions nominales des conduites de chauffage à distance, il n'est pas possible d'atteindre une perte de charge moyenne de 200 Pa/m dans une longue conduite avec des sections de conduites variables, si les différents tronçons sont dimensionnés de manière conséquente pour une perte de charge spécifique maximale de 200 Pa/m par exemple. Pour cette raison et sur la base des expériences pratiques, il est recommandé de dimensionner les différentes branches à une perte de charge spécifique maximale de 250 à 300 Pa/m pour l'extension finale prévue à la température de pose. La chute de pression spécifique maximale n'est en principe atteinte que pendant un petit nombre d'heures de fonctionnement, le reste de l'année, le réseau de chauffage à distance est pour ainsi dire "surdimensionné".

Dans Image 4.1 des recommandations pour les diamètres nominaux sont présentées en comparaison avec des vitesses d'écoulement maximales avec des pertes de charge spécifiques constantes de 100 Pa/m, 200 Pa/m et 300 Pa/m. Les vitesses d'écoulement maximales avec des pertes de charge spécifiques constantes sont calculées en supposant des coefficients de frottement des tuyaux de 0,020 pour DN 20, 0,016 pour DN 80 et 0,015 pour DN 400. La comparaison montre que les recommandations selon ÖKL [8] pour les conduites principales et dérivées jusqu'à DN150 conduisent à un dimensionnement similaire à la prise en compte des pertes de charge maximales à un peu moins de 300 Pa/m. Pour le dimensionnement et le calcul des diamètres de tuyaux, on utilise souvent 0,04 à 0,05 mm typiquement. Selon [12] il est toutefois recommandé d'utiliser une rugosité de tube maximale de 0,01 mm pour le calcul des pertes de charge.

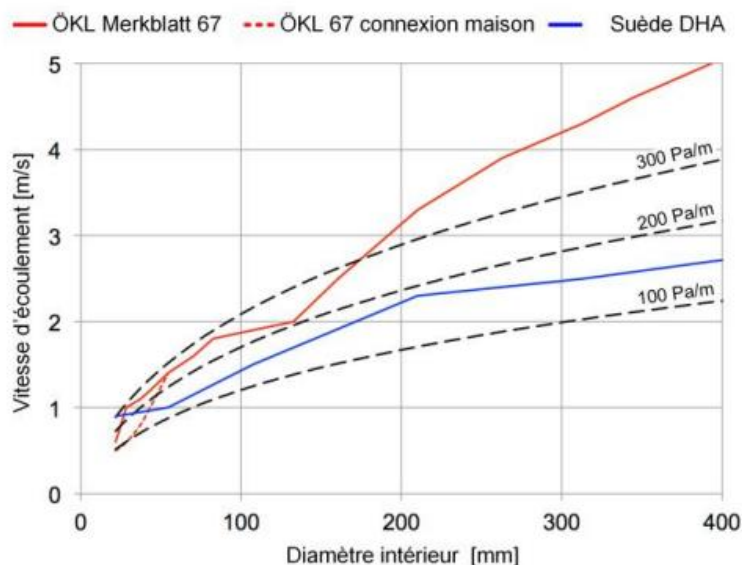


Image 4.1 Vitesses d'écoulement en fonction du diamètre intérieur :
- Recommandations pour la vitesse d'écoulement maximale selon la fiche technique ÖKL 67 [8]
- Recommandations Swedish District Heating Association (DHA) [11]
- Pertes de charge de 100 Pa/m, 200 Pa/m et 300 Pa/m. [4]

L'indication **Ecart avec l'optimum en nombre de DN** permet de voir d'un coup d'œil de combien de dimensions nominales le tronçon est éloigné de l'optimum. De plus, la **perte de pression par mètre de longueur** de branche est également indiquée.

Le **Taux d'utilisation hydraulique** est le rapport entre la perte de pression par mètre de conduite dans la branche partielle et la perte de pression maximale par mètre de conduite.

$$\eta_{hydr_T} = \frac{\Delta p_T}{\Delta p_{max}}$$

Le Taux d'utilisation hydraulique est indiqué d'une part sous la forme d'une valeur en pourcentage et d'autre part sous la forme d'une barre graphique. La barre se réfère toujours à la plus grande valeur de l'ensemble des valeurs évaluables (branches). Si les branches sont trop petites, il peut arriver qu'à 100%, toute la zone ne soit pas encore remplie (voir Image 4.2 pour la branche 1), car une branche trop petite présente une valeur supérieure à 100%.

THENA_1.3_CHF_DE-FR_aveccommentaires.xlsx

Résultats de la branche

THENA V1.3_CHF_DE-FR

Projet : Exemple de réseau
Variante : Exemple variante 1

#NV
Paramètre d'entrée (E3) selon QM chauffage à distance (valeur par défaut)

Fournisseur : M. Tout le monde
Date : 30.07.2024

Valeurs issues des données d'entrée sur la branche					
		Branche	1	2	3
Puissance thermique transportable	kW		620	170	130
Type de conduite	-		KMR	KMR	KMR
Diamètre nominal	DN		80	80	32
Épaisseur d'isolation	-		2	2	2
Longueur de tracé	m		400	320	400
Situation de pose	-		Flur	Flur	Flur
Coefficient de résistance des éléments encastrés dans le tronçon	-		0	0	0
Conduite de raccordement	Non = 0 oui = 1		0	0	1
Branche du consommateur le plus défavorisé	Non = 0 oui = 1		1	1	0
Position de la montée en pression	Non = 0 oui = 1		0	0	0
Evaluation					
diamètre nominal optimal	-		65	40	32
Dimensionnement de la branche	-		trop grand	trop grand	ok
Ecart avec l'optimum (en nombre de DN)	-		1	3	0
Perte de pression par mètre de conduite	Pa/m		86.3	8.4	243.7
Taux d'utilisation hydraulique	%		29%	3%	81%
Visualisation					

Image 4.2 Exemple de représentation du classeur A1_Teilstränge.

4.2 Dossier de travail A2_Grafiken

La représentation graphique des résultats les plus importants se fait dans le classeur A2_Grafiken sur deux pages qui peuvent être imprimées chacune sur une feuille A4 (vue de la mise en page). Les diagrammes suivants sont présentés sur les deux pages :

Page 1 Récapitulation générale des coûts, des pertes de chaleur, de la pression du réseau et du dimensionnement des branches. En complément, les caractéristiques du réseau sont représentées pour le point le plus défavorable (Image 4.3).

Page 2 Schéma de pression pour le point le plus défavorable et les principales valeurs caractéristiques sous forme de tableau (Image 4.8 et Image 4.9).

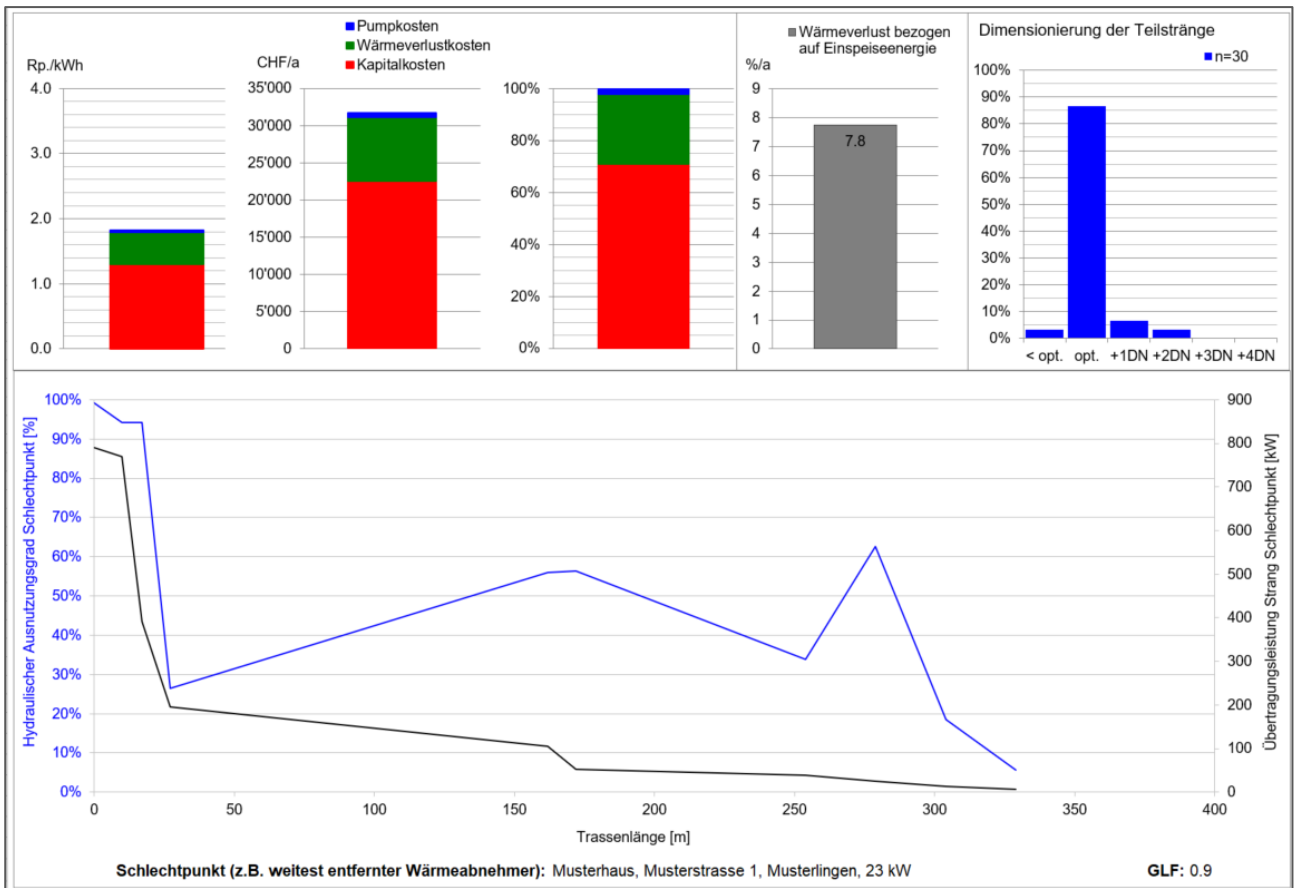


Image 4.3 Page 1 de l'évaluation graphique dans le classeur A2_Grafiken.

Dans Image 4.4 représente les coûts de la distribution de chaleur. Les calculs se basent sur les explications du manuel de planification du chauffage à distance selon le chapitre 9.3 ([5], page 175 et suivantes). Sur le côté gauche sont représentés les coûts de production de chaleur de la distribution de chaleur en cts/kWh, au milieu les coûts annuels de la distribution de chaleur en CHF/a et sur le côté droit la répartition en pourcentage des trois parts de coûts : Coûts des pompes, Coûts des pertes thermiques et Coûts de capital.

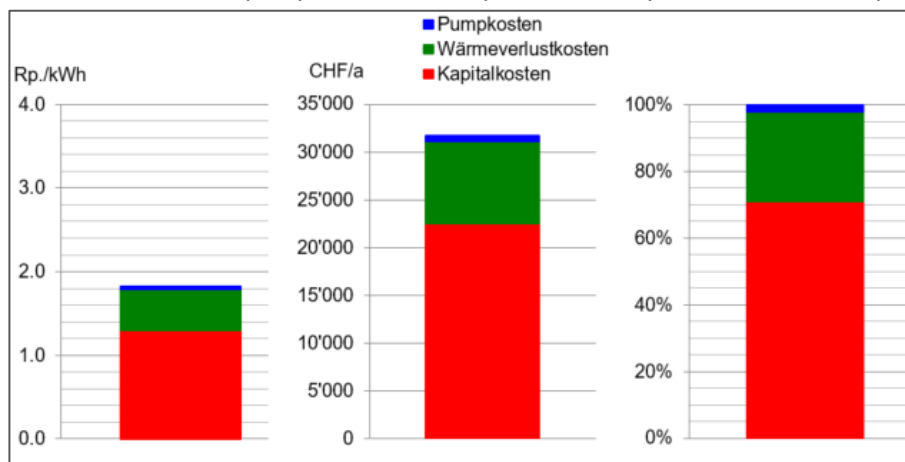


Image 4.4 Evaluation des coûts : à gauche, coûts de production de chaleur de la distribution de chaleur, au milieu, coûts annuels et à droite, répartition des coûts en pourcentage (page 1).

La Image 4.5 représente la perte de chaleur annuelle de la distribution de chaleur en %/a par rapport à la quantité de chaleur injectée dans le système.

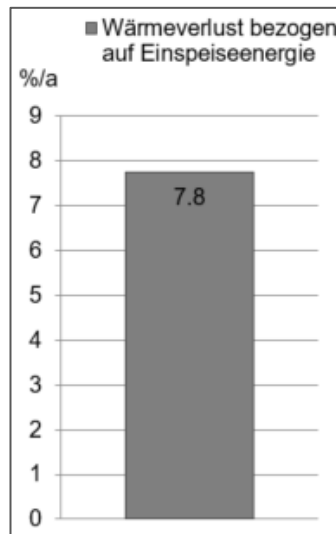


Image 4.5 Evaluation graphique de la perte de chaleur annuelle (page 1).

Le site Image 4.6 montre la répartition en pourcentage des branches dans le réseau de chauffage urbain par rapport à leur dimensionnement. Le degré d'optimisation peut être lu sur l'axe des x. La zone "opt." contient toutes les branches avec une dimension nominale optimale. A gauche de "opt." se trouvent les branches qui sont trop petites d'une ou de plus d'une dimension nominale (< opt.). A droite de "opt." se trouvent les branches trop grandes (par ex. +1DN). En cas de surdimensionnement, on distingue si le surdimensionnement est d'une, deux, trois ou quatre (ou plus) dimensions nominales.

L'évaluation du dimensionnement d'un réseau de chauffage à distance doit être effectuée pour l'extension finale prévue avec des conditions de pose par temps froid ainsi que pour la plus grande simultanéité attendue. Si l'on considère une exploitation à faible charge, le réseau de chauffage à distance serait toujours présenté comme "surdimensionné".

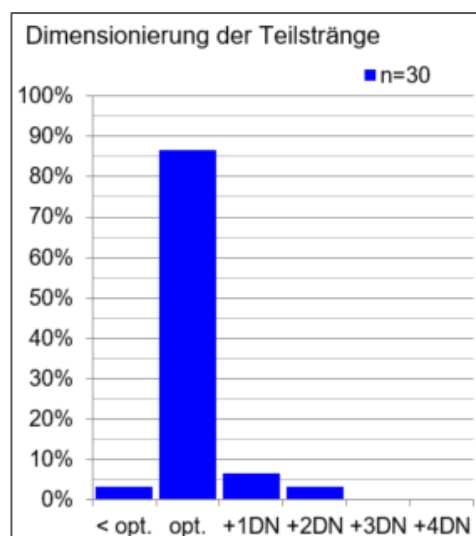


Image 4.6 Evaluation graphique du dimensionnement de la branche (page 1).

La Image 4.7 montre les caractéristiques du réseau pour la branche allant de la centrale thermique jusqu'au point le plus défavorable défini. Les caractéristiques du réseau sont représentées à l'aide de deux courbes (Taux d'utilisation hydraulique et puissance). Les deux courbes sont indiquées sur l'axe des x sous forme de distance en mètres de tracé. La centrale thermique se trouve au point zéro et le raccordement du consommateur, défini comme le point le plus défavorable, se trouve à la fin de la courbe. La puissance de transfert (en noir) représente la puissance de transfert des différentes branches jusqu'au point le plus défavorable et est indiquée en kW sur l'axe y de droite. Le taux d'utilisation hydraulique (bleu) correspond à la description donnée au chapitre 4.1 et est affiché en % sur l'axe y gauche.

Ce graphique ne permet pas de se prononcer sur le dimensionnement de chaque branche, mais il permet de se prononcer sur le dimensionnement général du réseau de chauffage à distance. En outre, il est possible de se prononcer sur les goulets d'étranglement et sur les branche à capacité libre pour le point le plus défavorable.

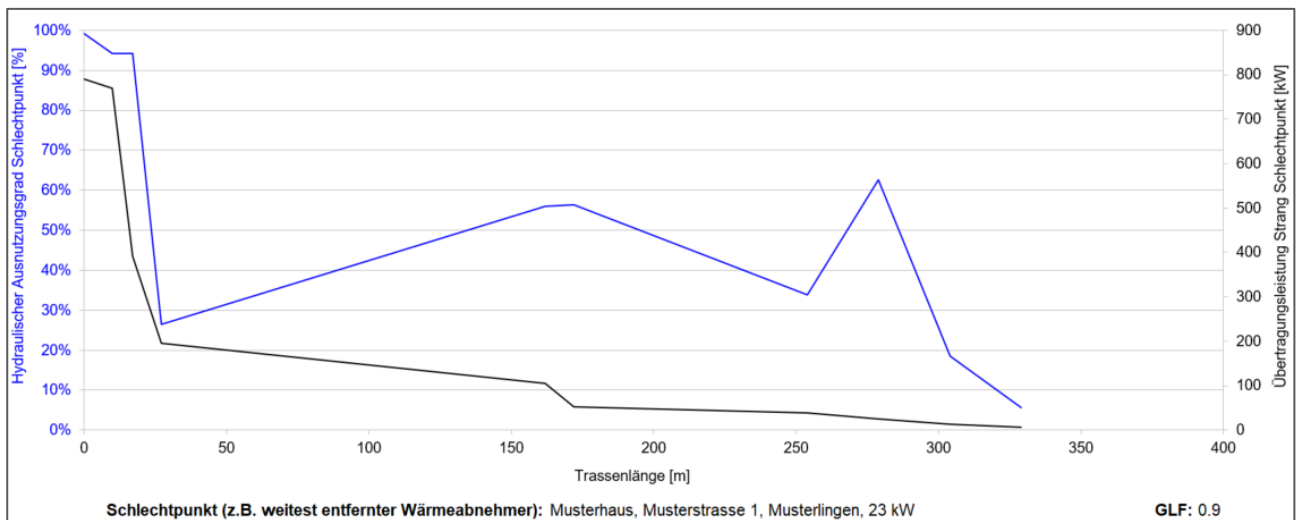


Image 4.7 Evaluation graphique des caractéristiques du réseau pour le point le plus défavorable défini (page 1).

La deuxième page de l'évaluation graphique montre les conditions de pression dans le réseau pour la branche allant de la centrale thermique (pompe de réseau) jusqu'au point le plus défavorable à l'aide d'un diagramme de pression et, sous forme de tableau, les principales valeurs caractéristiques. Le diagramme de pression est établi sur la base de la Image 4.8 qui est divisé en différentes zones :

- **Pression limite en cas d'incident (MIP)** (noir) : Description de la pression maximale limitée par les dispositifs de sécurité qui peut se produire à court terme dans un système (Maximum Incidental Pressure). La valeur se base généralement sur la pression de service maximale admissible (PS) de la partie la plus défavorable de la construction (tubes ou composants). Pour une estimation, il est également possible d'utiliser le niveau de pression nominale valable pour les tuyauteries et les composants tels que les brides, les vannes, les robinets-vannes et autres raccords . Dans ce cas, il faut également tenir compte de la pression nominale du composant le plus défavorable.
- **Pression de service maximale admissible (MOP)** (gris) : En aucun point du réseau, la pression ne doit dépasser la pression de service maximale admissible de la conduite et des parties installées de l'installation en fonctionnement normal (Maximum Operating Pressure). La pression de service maximale admissible est calculée en soustrayant de la pression limite en cas d'incident la pression statique du fluide entre l'emplacement du maintien de pression et le point le plus bas du réseau, ainsi qu'un abattement de sécurité. L'abattement de sécurité pour la pression de service maximale admissible est préétabli dans le classeur *E3_Paramètres* avec une valeur de 1,0 bar.
- **Pression aller** (rouge) : Représente l'évolution de la pression du départ de la centrale thermique jusqu'au raccordement de l'immeuble (chute de pression due à la perte de pression des conduites et des installations). Si une station d'augmentation de pression est définie, il en résulte une augmentation de pression à l'emplacement de la station d'augmentation de pression (uniquement dans le circuit aller).
- **Pression du retour** (bleu) : Représente l'évolution de la pression du retour depuis le raccordement de l'immeuble jusqu'à la centrale de production (chute de pression due à la perte de pression des conduites et des installations).
- **Pression minimale d'opération (maintien en pression)** (orange) : L'installation de maintien de pression et d'expansion permet de maintenir la pression de service minimale constante dans le réseau en cas de changement de température (volume). La pression minimale de service doit être au moins égale à la pression d'évaporation du fluide de chauffage à distance utilisé (par exemple l'eau) à la température d'exposition, y compris le coefficient de sécurité, et à la pression statique du fluide entre l'emplacement du maintien de pression et le point le plus haut du réseau. La pression d'évaporation à 100°C et le supplément de sécurité pour la pression de service minimale sont préétablis dans le dossier de travail *E3_Paramètres* avec une valeur de 1,0142 bar et 1,0 bar respectivement.

La différence de pression entre l'aller et le retour à l'extrémité du raccordement (à droite) est définie par la *Différence* de pression - raccordement de la station intérieure dans le classeur *E3_Parameter*.

La plage entre la pression de service minimale et la pression de service maximale admissibles représente la plage de pression de repos admissible.

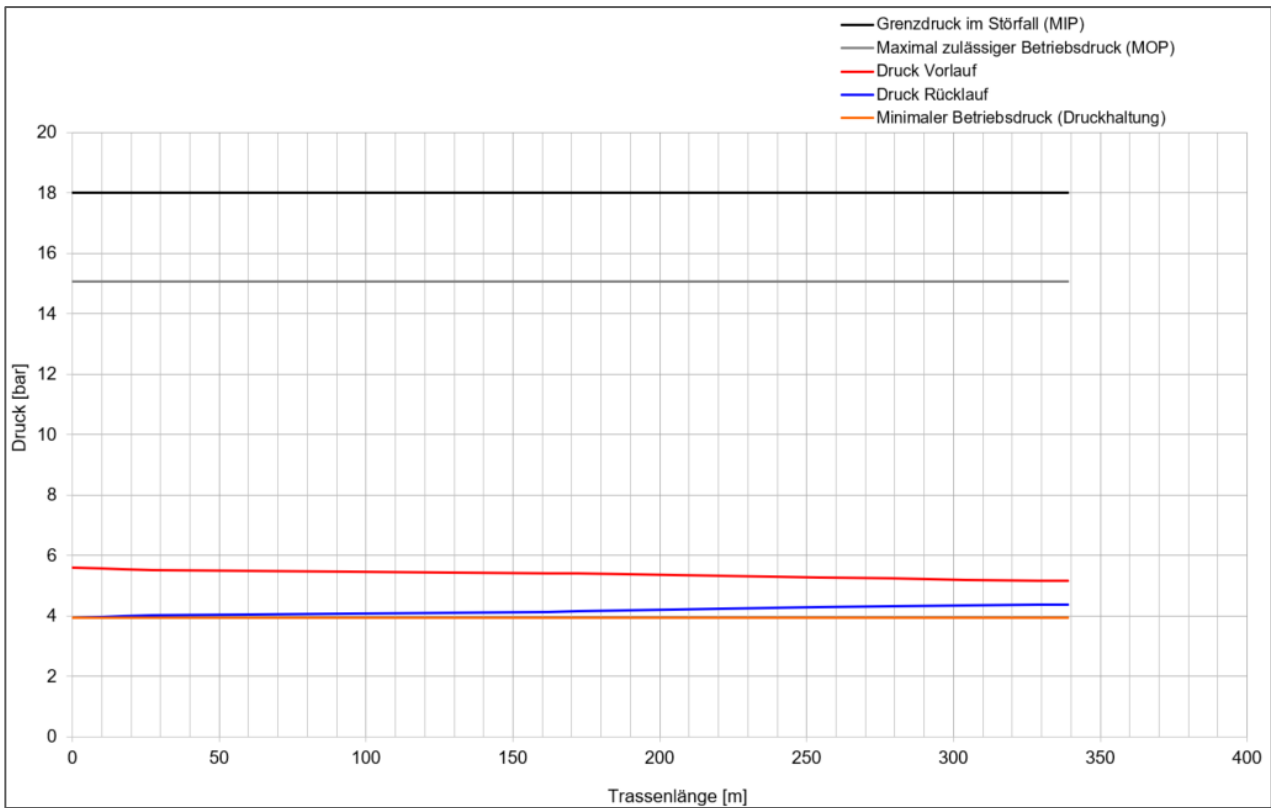


Image 4.8 Schéma d'impression du point le plus défavorable (page 2)

Sur la même page, un tableau (Image 4.9) indique les principales caractéristiques du diagramme de pression dans trois unités différentes (bar, Pa et mWS).

	bar	Pa	mWS
Grenzdruck im Störfall (MIP)	18.0	1'800'000	186.6
Maximal zulässiger Betriebsdruck (MOP)	15.1	1'507'096	156.3
Maximaler Netzdruck	5.6	559'938	58.1
Differenzdruck Hauptpumpe	1.7	165'614	17.2
Differenzdruck Druckerhöhung	-	-	-
Minimaler Betriebsdruck (Druckhaltung)	3.9	394'324	40.9
Differenzdruck Hausanschluss	0.8	80'000	8.3

Image 4.9 Tableau des principales informations sur le visuel (page 2)

5 Caractères de formule et indices

Signes	Signification	unité
AD	Densité de raccordement	MWh/(a m)
a	Facteur d'annuité	%/a
a	Distance tube ondulé	m
a	Distance entre les conduites	m
c_p	capacité thermique spécifique	kJ/(kg K) ; J/(kg K)
DN	Diamètre nominal (Nominal Diameter)	-
DS	Épaisseur d'isolation	-
g	Accélération de chute	m/s ²
g	Facteur de simultanéité	-
H	Hauteur d'élévation	m ; mWS
h	Hauteur, profondeur	m
I	Coûts d'investissement	CHF
i	Taux d'intérêt du capital	%/a
k	Rugosité des tuyaux	mm
k	coûts spécifiques	cts/kWh
L	Longueur du tracé (aller et retour en parallèle)	m
n	Nombre	-
n	Durée	a
P	Puissance (en général électrique)	kW
P	Prix	cts/kWh
PS	pression de service maximale	bar
p	Pression	bar, Pa, kPa
ΔP	Différence de pression, chute de pression	bar, Pa, kPa
Q	Quantité annuelle de chaleur	MWh/a, kWh/a
\dot{Q}	puissance thermique	MW, kW
\dot{q}	puissance thermique spécifique	W/m
$\dot{q}_{v,L}$	perte de chaleur spécifique par mètre de tracé de conduite	W/(m K)
Re	Nombre de Reynolds	-
T	Température	°C
T	Branche	-
ΔT	Étalement de la température	K
V	Volume	m ³ , m ³ /a
\dot{V}	Débit volumétrique	m ³ /s

Signes	Signification	unit↔
η	Rendement	%
η_a	Taux d'utilisation annuel	%
λ	Coefficient de résistance de l'écoulement dans le tube	-
λ	Conductivité thermique, résistance thermique	W/(m K)
ρ	Densité	kg/m ³
τ	Heures de fonctionnement à plein régime	h/a
ν	viscosité cinématique	m /s ²
ζ	Coefficient de résistance des éléments encastrés	-

Indices	Signification
A	Refroidissement
a	Année
B	Ressources
Br	Combustible
Bo	Sol (terre)
D	Matériau d'isolation
DES	Station de surpression
el	électrique
g	Simultanéité
Géo	Géodésique
Ges	Total
HA	Branchement domestique
HP	Point haut
hydr	hydraulique
m	Moyens
max	Maximum, Maximum
min	Minimum, Minimum
MIP	Pression incidente maximale
N	Nominal

Indices	Signification
N	Réseau
opt	optimal
P	Pompe
RL	Retour
S	Électricité (coûts)
S	Sécurité
SP	Point défavorable
T	Branche
TP	Point bas
mort	Total
Ü	Recouvrement
V	Perte
VL	Avance
VR	Aller et retour
W	Eau
WA	Preneur de chaleur
WE	Générateur de chaleur (centrale thermique)
WV	Répartition de la chaleur

6 Littérature

- [1] Nussbaumer, T. ; Thalmann, S. ; et al : Analyse et optimisation des réseaux de chauffage urbain - Etude préliminaire, rapport final, Office fédéral de l'énergie, Berne 2012
- [2] Thalmann, S. ; Nussbaumer, T. : Ist-Analyse von Fernwärmenetzen, 13e symposium sur l'énergie du bois, EPF Zurich 12.9.2014, Verenum Zurich 2014, ISBN 3-908705-25-8 , 235-260
- [3] Thalmann, S. ; Jenni, A. ; Nussbaumer, T. : Optimisation des réseaux de chauffage à distance, 14e symposium sur l'énergie du bois, EPF Zurich 16.9.2016, Verenum Zurich 2016, ISBN 3-908705-31-2, 153-172
- [4] Nussbaumer, T. ; Thalmann, S. : Influence of system design on heat distribution costs in district heating, Energy 101(2016) 496-505
- [5] Nussbaumer, T. ; Thalmann, S. ; Jenni, A. ; Ködel, J. : Manuel de planification du chauffage à distance, rapport final, Office fédéral de l'énergie, Berne, version 1.1 - 21.0 septembre 2017, ISBN 3-908705-30-4
- [6] Winter, W. ; et al : Untersuchungen der Gleichzeitigkeit in kleinen und mittleren Nahwärmenetzen, Euroheat & Power, 09/2001 et 10/2001
- [7] Glück, B. : Heizwasser Netze für Wohn- und Industriegebiete, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1ère édition 1985, ISBN 3-8022-0095-0
- [8] Glück, B. : Hydrodynamische und gasdynamische Rohrströmung - Druckverluste, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1ère édition 1988, ISBN 3-345-00222-1
- [9] QM Holzheizwerke : Planungshandbuch, Schriftenreihe QM Holzheizwerke Band 4, C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing, 2ème édition 2008, ISBN 978-3-937441-94-8
- [10] Böswirth, L. : Technische Strömungslehre, 7e édition, Vieweg, Wiesbaden 2007 , ISBN 978-3-8348-0272-9
- [11] Fredriksen, S. ; Werner, S. : District Heating and Cooling, Studentlitteratur AB, Lund 2013, ISBN 978-91 44 08530-2
- [12] Winter, W. ; et al : Hydraulische Rohrrauigkeit von Stahlmediumrohren für Fernwärmenetze, Euroheat & Power, Volume 29, 05/2000, pages 24-33
- [13] Wagner, W. : Rohrleitungstechnik, Vogel Buchverlag, Würzburg, 11e édition 2012, ISBN 978-3-8343-3283-7
- [14] Idelchik, I.E. : Handbook of Hydraulic Resistance, Begel House, Danbury, 4e édition 2007, ISBN 978-1-56700-251-5

7 Fiches d'aide aux branches

Les pages suivantes (feuilles d'aide Branches partielles) servent à enregistrer manuellement les données des branches partielles afin de faciliter le report dans la feuille de calcul *E2_Teilstränge* et peuvent être facilement imprimées.

