

Anleitung

Hydraulische Berechnung von Wärmetransport in energyPRO



energyPRO



EMD International A/S
www.emd.dk

© Copyright and publisher:

EMD International A/S
Niels Jernes vej 10
9220 Aalborg Ø
Denmark
Phone: +45 9635 44444
e-mail: emd@emd.dk
[web: www.emd.dk](http://www.emd.dk)

Über energyPRO

energyPRO ist eine Windows-basierte Modellierungssoftware für die techno-ökonomische Analyse und Optimierung komplexer Energieprojekte mit kombinierter Strom- und Wärmeversorgung aus mehreren verschiedenen Energieerzeugungseinheiten.

Die einzigartige Programmierung in energyPRO optimiert den Betrieb der Anlage einschließlich der Speicher (Wärme-, Brennstoff-, Kälte- und elektrische Speicher) nach technischen und finanziellen Parametern, um den definierten Energiebedarf zu decken, einschließlich Heizung, Kühlung und Stromverbrauch.

energyPRO stellt dem Benutzer außerdem einen detaillierten Finanzplan in einem von internationalen Banken und Finanzierungsinstitutionen anerkannten Standardformat zur Verfügung. Die Software ermöglicht dem Benutzer weiterhin die Berechnung und Erstellung eines Berichts über die Emissionen des Systems.

energyPRO ist ein sehr benutzerfreundliches und flexibles Softwarepaket für die Erstellung einer kombinierten technischen und wirtschaftlichen Analyse von mehrdimensionalen Energieprojekten.

Weitere Informationen zu den Anwendungen von energyPRO finden Sie unter:

<https://www.emd.dk/energypro-germany/>

Anwendungsbedingungen

EMD unternimmt alle Anstrengungen, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Informationen in diesem Handbuch sicherzustellen. Die Informationen werden jedoch ohne jegliche Gewährleistung bereitgestellt. EMD übernimmt keine Verantwortung oder Haftung für die Richtigkeit, den Inhalt, die Vollständigkeit, die Rechtmäßigkeit oder Zuverlässigkeit der in diesem Handbuch enthaltenen Informationen.

Es werden keine Garantien und/oder Zusicherungen jeglicher Art, weder ausdrücklich noch implizit, hinsichtlich Art, Standard, Genauigkeit oder Sonstigem der Informationen in diesem Leitfaden oder hinsichtlich der Eignung der Informationen für den jeweiligen Anwendungsfall gegeben. In keinem Fall haftet EMD für Verluste oder Schäden jeglicher Art (direkt, indirekt, resultierend oder anderweitig), sei es aus einem Vertrag, aus unerlaubter Handlung oder aus anderen Gründen, die sich aus Ihrer Verwendung (oder der Fehlverwendung) dieses Handbuchs oder von Ihrer Verwendung (oder Fehlverwendung) der Informationen in diesem Handbuch ergeben können.

Inhalts- und Abbildungsverzeichnis

Dieser Guide behandelt die Funktion in energyPRO, Übertragungen anhand hydraulischer Parameter genauer zu definieren und automatische Berechnungen durchzuführen.

INHALTS- UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
1. EINLEITUNG: DIE HYDRAULISCHE BERECHNUNG	5
2. EINGANGSPARAMETER	6
2.1. Länge	7
2.2. Innendurchmesser	7
2.3. Rohrrauigkeit	8
2.4. Spezifischer Wärmeverlust	8
2.5. Maximale Fließgeschwindigkeit	8
2.6. Maximaler spezifischer Druckverlust	9
2.7. Bodentemperatur	9
3. PUMPENARBEIT	10
4. DARSTELLUNG UND ANALYSE	11
5. ZUSAMMENFASSUNG	13
6. QUELLENVERZEICHNIS	13

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Definieren eines Standortes	6
Abbildung 2: Aktivieren der hydraulischen Berechnung	6
Abbildung 3: Eingabemaske Parameter zur Übertragung	6
Abbildung 4: Beispiel Abmessungen Rohrleitung	7
Abbildung 5: Beispiel Temperaturverlauf Würzburg in 50cm und 100cm Messtiefe	10
Abbildung 6: Eingabemaske Pumpenarbeit	10
Abbildung 7: Darstellung von Übertragung und Pumpenarbeit in MW	11
Abbildung 8: Darstellung mehrerer Übertragungen	11
Abbildung 9: Erzeugungszeitreihen Übertragung und Verluste	12
Abbildung 10: Bearbeiten der Darstellung und Datenexport	12
Abbildung 11: Grafische Darstellung der Übertragungen eines Standortes	12

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Eingangsparameter	7
Tabelle 2: Beispiele für Innendurchmesser in Abhängigkeit der Nennweite in Millimeter	7
Tabelle 3: Kennzahlen für Rohrrauigkeiten	8
Tabelle 4: Rohrhersteller und Produktkataloge	8
Tabelle 5: Max Fließgeschwindigkeiten nach Nennweite	8

1. Einleitung: Die Hydraulische Berechnung

Bisher konnte mit dem REGION Modul eine Übertragung von Wärme, Prozesswärme oder Kälte zwischen Standorten modelliert und über pauschale Kapazitäten der Leitung und feste Verluste der Übertragung spezifiziert werden. Seit der Version 4.8 können die Übertragungsleitungen detaillierter definiert werden, um das hydraulische Verhalten in den Rohren berechnen zu lassen. Wenn eingestellt, berechnet energyPRO je nach angegebenen Leitungseigenschaften die passenden **Kapazitäten, Übertragungsverluste** sowie **Druckverluste** mit der korrespondierenden notwendigen **Pumpenarbeit**. Eine Einteilung nach **Temperaturzonen** erlaubt außerdem einen Überblick über die unterschiedlichen Niveaus an den Standorten, die durch die jeweils minimalen Vor- und Rücklauf-temperaturen definiert werden.

Um die Funktionalität dieses Features umfänglich nutzen zu können, sind Grundkenntnisse über die notwendigen Eingabedaten von Vorteil, die in dieser Anleitung nähergebracht werden sollen. Während aus Gründen der Vollständigkeit Überschneidungen zum englischen how-to-guide ([Hydraulic calculation of District Heating in energyPRO](#)) vorhanden sind, fokussiert sich diese Anleitung stärker auf die praktischen Hintergründe der Materie. Für Hintergrundinformationen zu den Berechnungen in energyPRO wird der englische Guide empfohlen.

2. Eingangsparameter

Für einen Setup der Übertragungen wird im Vorfeld für jeden Standort festgelegt, auf welchen Temperaturniveaus dieser arbeiten. Dafür müssen die minimal erforderlichen Vor- und Rücklauftemperaturen bekannt sein. Die Eingabe von Formeln ist möglich, womit auch Temperaturzeitreihen eingetragen werden können (vgl. Abbildung 1).

Um die hydraulische Berechnungsmethode zu aktivieren, muss die Option „Enthält hydraulische Druck- und Geschwindigkeitsrestriktionen in Übertragungsleitungen“ in der Projektbeschreibung ausgewählt werden (Abbildung 2).

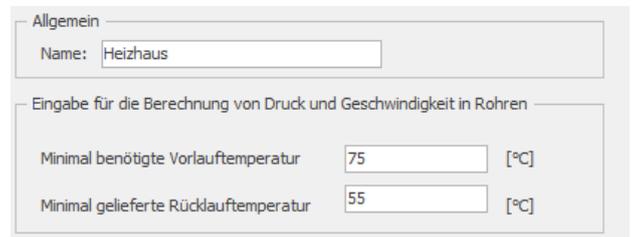


Abbildung 1: Definieren eines Standortes

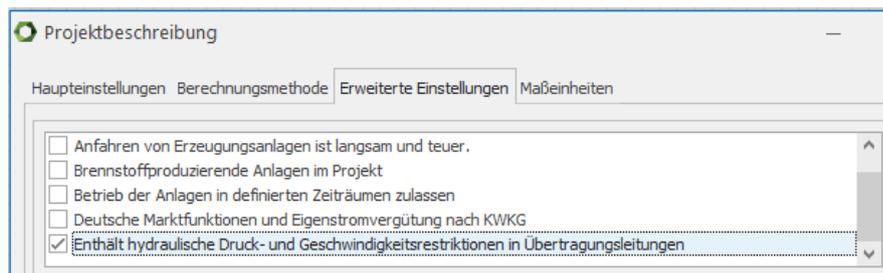


Abbildung 2: Aktivieren der hydraulischen Berechnung

Die Eingabemaske für die Übertragungen ist in Abbildung 3 dargestellt. Für eine korrekte Berechnung müssen für alle gezeigten Parameter plausible Werte eingetragen werden.

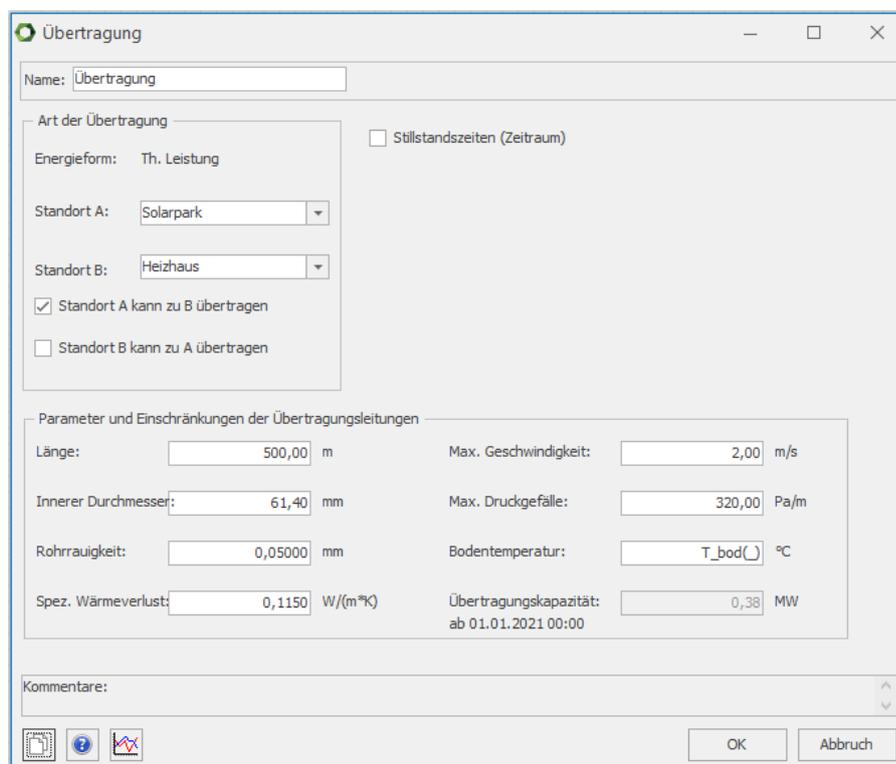


Abbildung 3: Eingabemaske Parameter zur Übertragung

Die Eingabegrößen (Tabelle 1) sind hauptsächlich durch die geplanten **Rohre**, deren **Dimensionen**, Verlauf, Dämmung und Material bestimmt. Grundsätzlich kann man viele der notwendigen Informationen aus Datenblättern von Rohrherstellern entnehmen. Welche Kenngrößen für eine erste Abschätzung angenommen werden können und an welchen Stellen Detailgrößen zu finden sind, wird im Anschluss erläutert.

Tabelle 1: Übersicht Eingangsparameter

Parameter	Symbol	Einheit	Kommentar
Länge	l_{pipe}	Meter	Länge der Übertragungsleitung
Innendurchmesser	d_{pipe}	mm	Abh. Vom Rohrtyp, siehe Tabelle 2
Rohrrauigkeit	k_{pipe}	mm	Vom Material abhängig, siehe Tabelle 3
Spez. Wärmeverlust	U_{pipe}	W/m*K	Herstellerangabe, abh. v. Rohr und Isolation
Max. Fließgeschwindigkeit	$v_{\text{pipe,max}}$	m/s	Typischerweise 2 m/s, vgl. Tabelle 4
Max. Druckverlust	R_{pipe}	Pa/m	Siehe Details unten
Bodentemperatur	T_{bod}	°C	Zeitreihe als Formel möglich.

2.1. Länge

Die **Länge** der Übertragung wird in Metern eingetragen und stellt eine Größe dar, die im Vorfeld durch die Projektplanung bekannt sein muss. Sie beeinflusst die Leitungsverluste und den Druckabfall. Der Eingabewert bezieht sich auf die **einfache Strecke** zwischen zwei Standorten, auch wenn der Transport in beide Richtungen erlaubt ist.

2.2. Innendurchmesser

Der **Innendurchmesser** lässt sich gewöhnlicherweise über die Nennweite (DN) der Rohre ermitteln, die in der Planung entweder direkt angegeben wird, oder anhand der gewünschten Übertragungskapazität ermittelt werden muss. Da der Zusammenhang zur Nennweite vom Material abhängig ist, kann man nicht pauschal beantworten, welcher Innendurchmesser eingetragen werden sollte. Beispielhaft sind in Tabelle 2 Kennzahlen für Stahl-, Kupfer und PEX-Rohre dargestellt:

Tabelle 2: Beispiele für Innendurchmesser in Abhängigkeit der Nennweite in Millimeter

DN	Stahl	Kupfer	PEX
20	21,7	20,0	-
25	28,5	26,0	20,4
32	37,2	32,6	26,2
40	43,1	39,6	32,6
50	54,5	51,0	40,8
65	70,3	61,0	51,4
80	82,5	72,1	61,4
90	-	-	73,6
100	107,1	84,9	-

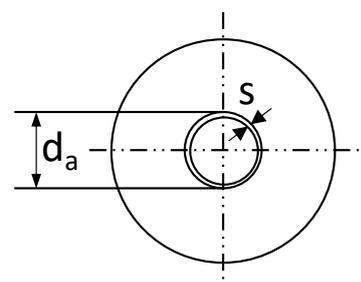


Abbildung 4: Beispiel Abmessungen Rohrleitung (eigene Darstellung)

Die Berechnung der Innendurchmesser d_i erfolgt anhand der Außendurchmesser d_a , die in den [Datenblättern](#) der Hersteller festgelegt sind und *häufig* denen der Nenndurchmesser entsprechen (Ausnahme z.B. bei Stahlrohren). Über die ebenfalls angegebene Wandstärke s , die teilweise bereits im Produktnamen angegeben ist, kann man auf den Innendurchmesser schließen, wobei die doppelte Wandstärke vom Außendurchmesser abgezogen werden muss: $d_i = d_a - 2 * s$.

2.3. Rohrrauigkeit

Die **Rohrrauigkeit** ist eine Materialeigenschaft, die über das Verhalten des Mediums im Rohr und damit insbesondere über den Druckverlust entscheidet. Häufig werden bei den Herstellern dazu Angaben gemacht, oder Standardwerte zugrunde gelegt, wie in Tabelle 3 zu sehen:

Tabelle 3: Kennzahlen für Rohrrauigkeiten

Material	Rohrrauigkeit [mm]
Edelstahl	0,001...0,006
Stahl	0,045...0,09
Kupfer, Aluminium, Blei, Messing, ...	0,001...0,002
Kunststoffe (PVC, PE, ...)	0,0015...0,007
Beton	0,3...1

**Mehr Eigenschaften sind z.B. hier zu finden: [surface-roughness](#)*

2.4. Spezifischer Wärmeverlust

Der **spezifische Wärmeverlust** ist eine Kennzahl, die stark von der Größe und den Eigenschaften des verbauten Rohres sowie dessen **Isolierung** abhängig ist. Um die Wärmeverluste gut abschätzen zu können, sollte diese Größe bereits in der Planung bekannt sein. In einer ersten Grobabschätzung kann man für gedämmte Rohre in etwa Größenordnungen zwischen **0,1...0,5 W/m*K** annehmen.

Genauere Kennzahlen werden meistens von den Herstellern in den Produktdatenblättern geliefert und sind in der Regel frei aufrufbar. Beispiele von unterschiedlichen Herstellern und Rohrsystemen sind in Tabelle 4 aufgelistet:

Tabelle 4: Rohrhersteller und Produktkataloge

Hersteller	Materialien	Download Produktkatalog
Rehau	PEX (Kunststoff)	RAUTHERMEX und RAUVITHERM
BRUGG Pipes	Stahl	Premant Uno & Premant Duo
Uponor	PE (Kunststoff)	Ecoflex Nahwärmesysteme
Logstor	Stahl, PEX, Alu, Kupfer	Produktkatalog District Energy

Es gilt zu beachten, dass die Art und Weise der Verbauung der Rohre ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Bestimmung des Wärmeverlustes spielt. So ist beispielsweise der spezifische Wärmeverlust bei zwei nebeneinander verbauten Rohren (Duo Rohre) geringer als bei zwei einzeln verlegten Rohren. Wenn ein **Duo Rohr** verlegt werden soll, muss der korrespondierende spez. Wärmeverlust **halbiert werden**, da in der Wärmeverlustberechnung von zwei einzeln verlegten Rohren ausgegangen wird.

2.5. Maximale Fließgeschwindigkeit

Die **maximale Fließgeschwindigkeit** ist ein Parameter, der über **Kapazität** und **Druckverlust** in der Leitung entscheidet. Je schneller das Medium transportiert werden darf, desto mehr Wärme kann übertragen werden, dafür steigen die Lautstärkebelastung sowie der Druckabfall an. Vereinfacht kann man bei kleinen Übertragungsleitungen von **maximal 2 m/s**, bei größeren von **maximal 3 m/s** ausgehen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Max Fließgeschwindigkeiten nach Nennweite

Nennweite Rohr	Max. Fließgeschwindigkeit
DN 20-400	2 m/s
> DN400	3 m/s

Die maximalen Fließgeschwindigkeiten in Nah-/Fernwärmenetzen liegen üblicherweise unter diesen Werten, um Störungen durch **Lautstärke** in besiedelten Gebieten zu vermeiden. Nach ÖKL-Merkblatt 67 des österreichischen Kuratoriums für Landtechnik und Landentwicklung sind Richtgrößen zwischen **0,6 m/s** (DN20) bis zu **1,9 m/s** (DN100) vorgegeben (ÖKL Merkblatt 67 aus [Nussbaumer und Thalmann 2014](#)). Falls in der Planung nicht bekannt ist, ob es zu Problemen bezüglich Lärmbelastigung kommen kann, ist empfohlen, im Zweifelsfall nach diesen Vorgaben zu rechnen. Nachdem REGIONS primär für Übertragungen zwischen zwei Standorten und weniger für die Auslegung von ganzen Wärmenetzen angedacht ist, kann dennoch meistens mit den Grenzwerten aus Tabelle 5 gerechnet werden.

Die Hersteller geben zum Teil ebenfalls Werte für zulässige Fließgeschwindigkeiten an, die man falls vorhanden **primär nutzen** sollte, um die Leitung korrekt zu definieren. Sie sind üblicherweise aus Diagrammen oder Tabellen zu entnehmen und zeigen den Zusammenhang mit den maximalen **spezifischen Druckverlusten**, der **Kapazität** sowie der **Temperaturdifferenz** der Medien.

2.6. Maximaler spezifischer Druckverlust

Die Eingabe des **maximalen spezifischen Druckverlustes** sollte nach Möglichkeit anhand von Diagrammen, Tabellen oder eigenen Berechnungen geschehen. Als erste Faustgröße kann man von **100-200 Pa/m** ausgehen. Der maximale Druckverlust kann grundsätzlich auch noch viel höher liegen, sofern diese Grenzwerte nur in wenigen Stunden im Jahr erreicht werden müssen (**Lastspitzen**). Bei Lasten mit hohen Druckverlusten, die über längere Zeiträume anfallen, wäre in der Praxis ein größeres Rohr zu empfehlen. Beim Nutzen von Diagrammen oder Tabellen muss die maximale Fließgeschwindigkeit bekannt sein oder besser beide Kennzahlen gleichzeitig ermittelt werden. Als Ziel sollte man die kleinstmöglichen Rohre mit ausreichender Kapazität definieren, ohne einen zu hohen Druckabfall (Pumpenarbeit) oder zu schnelle Geschwindigkeiten (Lärmbelastung) zu riskieren. Je nach Hersteller können die Diagramme bzw. Tabellen für die Zusammenhänge häufig ebenfalls in den [Produktkatalogen](#) gefunden werden. Auch werden zum Teil Auslegungshinweise gegeben, indem für bekannte Temperaturspreizungen und gewünschter Kapazität bereits Wertepaare für Druck und Temperatur vorgeschlagen werden.

2.7. Bodentemperatur

Die **Bodentemperatur** ist ein weiterer Parameter, der über die Verluste in der Übertragung entscheidet. Vereinfacht können bei innerstädtischen Übertragungen etwa **8-12° C** angenommen werden. Es ist allerdings ratsam, die Bodentemperatur als Zeitreihe einzutragen, da die jährlichen Schwankungen zum Teil erheblich sind. Je nach Standort liefert der Deutsche Wetterdienst dazu entsprechende Daten ([DWD Opendata](#)), wobei stündliche/tägliche Werte mit bis zu 1m Bodentiefe gängig sind.

Bezogen auf die typischen Verlegtiefen von Fernwärmeleitungen (ca. 60cm-1,20m) sind diese Daten meist ausreichend, zumal die Temperaturen in diesem Bereich sich nicht stark ändern. Für geeignete Messpunkte des DWD sollte man bevorzugt darauf achten, dass eine ähnliche Struktur herrscht (Stadt/Dorf/Umland). Beispielhaft ist in Abbildung 5 der jährliche Verlauf der Bodentemperatur von Würzburg in 50cm und 1,0m Messtiefe dargestellt. Wenn in der betrachteten Region keine Daten zur Bodentemperatur vorhanden sein sollte, kann man diese über einen sinusförmigen Verlauf annähern, die von der Außentemperatur abhängig ist. Die Formel, die dabei in energyPRO in Form einer Zeitreihenfunktion angegeben werden muss, ist folgende:

$$T_{bod}(_) \approx -0,9 * a * SIN\left(HoY * 2 * \frac{PI}{8760} + \frac{PI}{3}\right) + b$$

Wobei **a** die Standardabweichung und **b** der Mittelwert der Außentemperaturzeitreihe bezeichnen. Der Faktor -0,9 ist ein empirischer Annäherungswert, der je nach Standort und Verlegtiefe zwischen -0,8 und -1,1 variiert werden kann. Die Abkürzung HoY bezeichnet die jeweilige Stunde des Jahres und die entsprechende Formel (siehe unten) kann entweder in der oben genannten Funktion eingesetzt, oder in einer separaten Zeitreihenfunktion angelegt werden:

$$HoY = (\text{encodedate}(\text{year}(_); \text{month}(_); \text{day}(_)) + \text{hour}(_)/24 - \text{encodedate}(\text{year}(_); 1; 1)) * 24$$

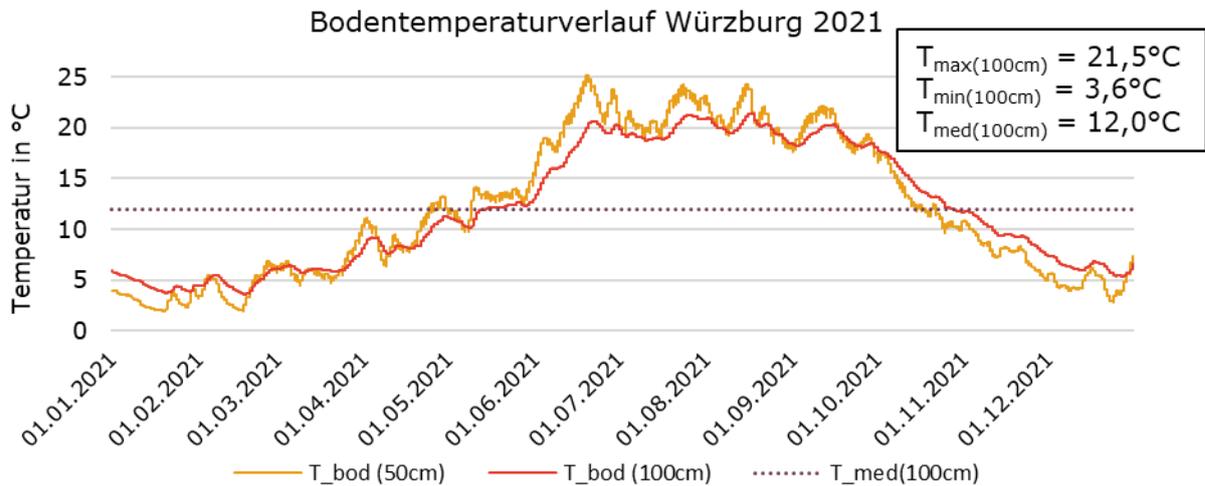


Abbildung 5: Beispiel Temperaturverlauf Würzburg in 50cm und 100cm Messtiefe (Eigene Darstellung nach DWD 2022)

3. Pumpenarbeit

Über die hydraulische Berechnung wird der Druckverlust ermittelt, der beim Transport zustande kommt. Damit kann die **Pumpenarbeit** errechnet werden, die notwendig ist, um diesen auszugleichen. Auf diese kann bei den Zahlungen über die Formel „WorkOfPumps (Übertragung)“ zugegriffen werden. Beispielsweise kann man so eine Zahlung anlegen, mit der der notwendige Strombedarf für die Pumpen berücksichtigt wird (Abbildung 6). Für kürzere Übertragungsleitungen ist der Aufwand, den Druck aufrecht zu halten, vergleichsweise gering und macht in der Regel nicht mehr als **0,5 %** der übertragenen Wärme aus.

Abbildung 6: Eingabemaske Pumpenarbeit

4. Darstellung und Analyse

Unter dem neuen Reiter „Übertragung, Darstellung“ kann man nach einem Simulationsdurchlauf die Ergebnisse der Übertragungen betrachten. Voreingestellt sind die Darstellung von Druckgradient [Pa/m] und Strömungsgeschwindigkeit [m/s]. Weitere Darstellungen sind der gesamte Druckverlust [bar], Volumenstrom [m³/h], Pumpenarbeit [MW] sowie die Übertragung selbst [MW].

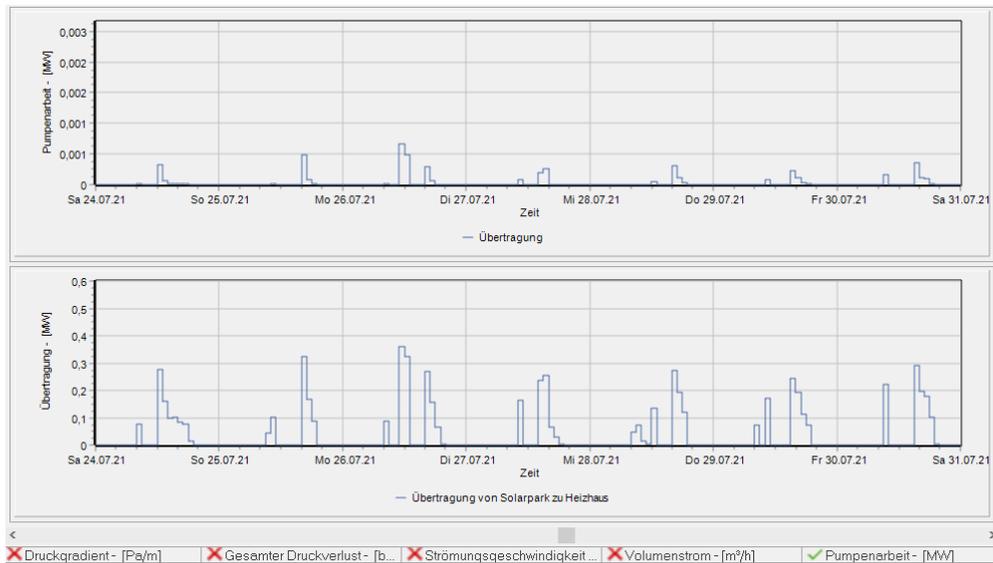


Abbildung 7: Darstellung von Übertragung und Pumpenarbeit in MW

Wenn mehrere Standorte im System sind, die ggf. auch Wärme von- und zueinander schicken können, wird die Darstellung umfangreicher und man kann in dem Reiter darüber auch einzelne Übertragungen spezifisch auswählen:

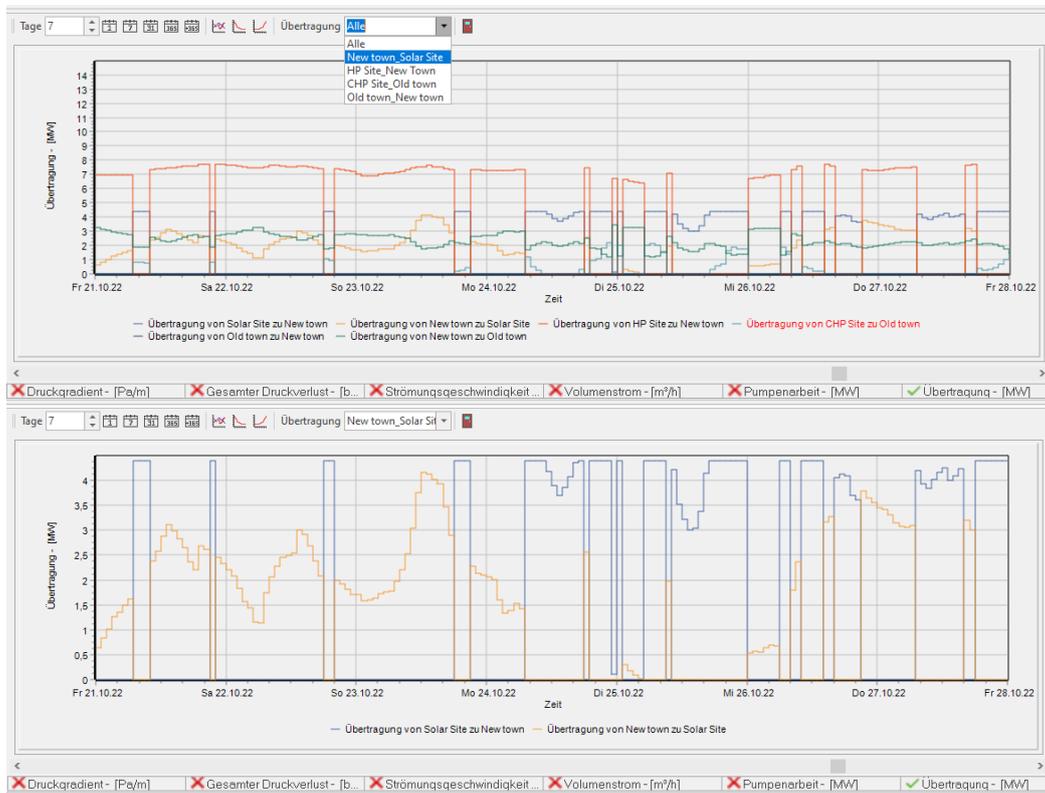


Abbildung 8: Darstellung mehrerer Übertragungen

Um die **Übertragungsdaten auszuwerten**, kann man sich die Erzeugungszeitreihen exportieren. Diese liefern allerdings nur Informationen über die **Wärmeübertragung** und die **berechneten Verluste** (vgl. Abbildung 9). Informationen über die anderen Kenngrößen lassen sich aus den spezifischen Grafiken zur Übertragung exportieren. Dazu wählt man die Grafik zur gewünschten Kennzahl aus und öffnet mit einem Doppelklick das Einstellungs-menü. Hier kann man die relevanten Übertragungen ein- bzw. abwählen.

Übertragung		Übertragung	
Th. Leistung Senden an Heizhaus		Th. Leistung Übertragungsverluste	
	0		0,009
	0		0,009
	0,10024064		0,009
	0,24111635		0,009
	0,37179877		0,009
	0,45946216		0,009

Abbildung 9: Erzeugungszeitreihen Übertragung und Verluste

Im Reiter „Daten“ findet man die gewünschten Größen und kann diese in den Zwischenspeicher kopieren, die in Excel weiter ausgewertet werden können.

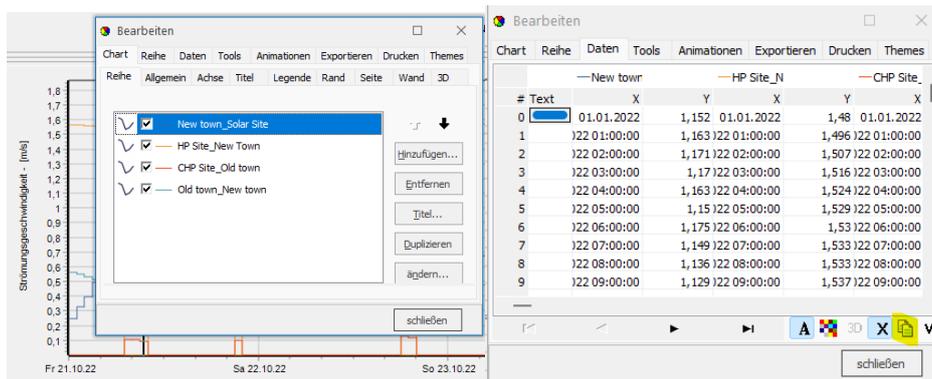


Abbildung 10: Bearbeiten der Darstellung und Datenexport

In „**Energieumwandlung Grafisch**“ kann bei ausgewähltem Standort ebenfalls angezeigt werden, wie viel Energie von welchen Standorten geschickt wurde und wie viel an andere Standorte weitergegeben wird. Übertragungsverluste sind auch darstellbar, müssen ggf. per Hand zur Grafik hinzugefügt werden.

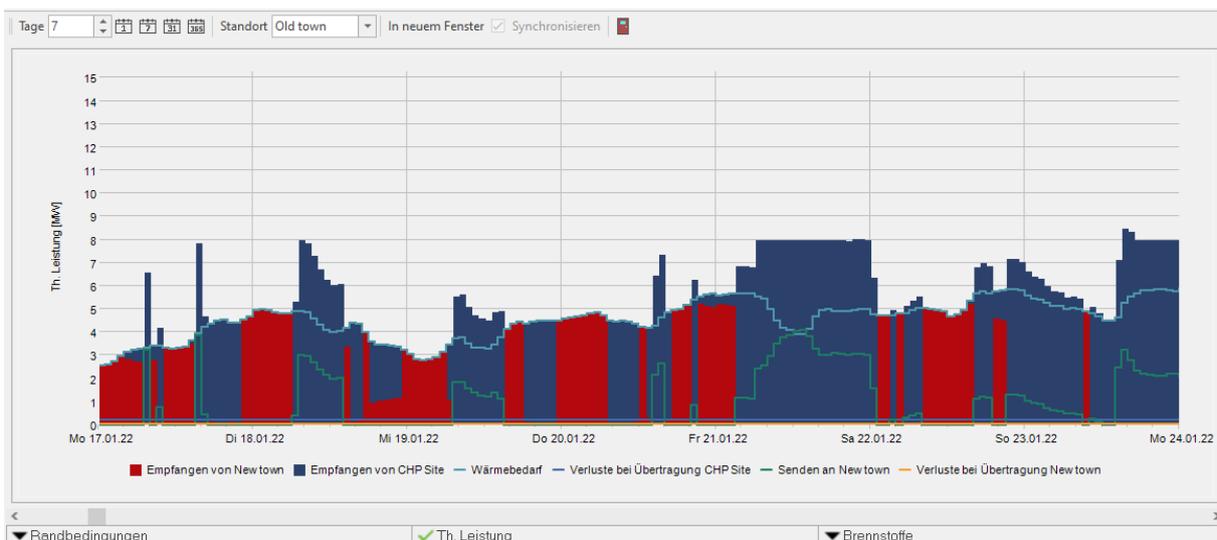


Abbildung 11: Grafische Darstellung der Übertragungen eines Standortes

5. Zusammenfassung

REGION liefert mit den Basiseinstellungen mit fester Kapazität und festen Verlusten bereits sinnvolle Ergebnisse, sofern die getroffenen Annahmen korrekt sind. Mithilfe der hydraulischen Berechnungsmethode kann nun eine Planung durchgeführt werden, die sich an den tatsächlichen Rohrdurchmessern und deren Eigenschaften orientiert. Damit wird einerseits die Auslegung vereinfacht und besser an die Realität angepasst.

Die Bestimmung thermischer Verluste in Rohrleitungen ist stets mit Unsicherheiten verbunden und insbesondere in der Phase der Vorplanung eine Größe, die nur schwer abschätzbar ist. Nachdem Wärmeverluste einen großen Teil der Gesamtverluste in einem Energiesystem ausmachen, stellt eine automatisierte Berechnung dieser einen Vorteil gegenüber pauschalen Angaben dar.

Selbst wenn die Pumpenarbeit in seiner Größenordnung in diesem Beispiel nicht allzu schwer ins Gewicht fällt, kann diese insbesondere in weitreichenderen Netzen durchaus an Relevanz gewinnen, die ohne die hydraulische Berechnungsmethode nicht beachtet werden könnte und manuell abgeschätzt werden müsste.

6. Quellenverzeichnis

EMD International A/S (2022): HYDRAULIC CALCULATION OF DISTRICT HEATING IN ENERGYPRO. Online verfügbar unter: <https://www.emd-international.com/files/energypro/HowToGuides/Hydraulic%20calculation%20of%20District%20Heating%20in%20energyPRO.pdf>, aufgerufen am 02.12.2022

Engineering ToolBox, (2003). ROUGHNESS & SURFACE COEFFICIENTS. Online verfügbar unter: https://www.engineeringtoolbox.com/surface-roughness-ventilation-ducts-d_209.html, aufgerufen am 02.12.2022

REHAU Industries SE & Co. KG (2022): NAHWÄRMESYSTEME RAUTHERMEX UND RAUVITHERM. Online verfügbar unter: <https://www.rehau.com/downloads/99896/rauthermex-rauvitherm-technische-information.pdf>, aufgerufen am 02.12.2022

Brugg Pipes (2022a): PREMANT-FERNWÄRMELEITUNG. Online verfügbar unter: https://www.bruggpipes.com/fileadmin/user_upload/downloads/produkte/01-nah-und-fernwaerme/premant/dokumentation/PRE_D_BRG_Mai22.pdf, aufgerufen am 02.12.2022

Brugg Pipes (2022b): PREMANT DUO-FERNWÄRMELEITUNG. Online verfügbar unter: https://www.bruggpipes.com/fileadmin/user_upload/downloads/produkte/01-nah-und-fernwaerme/premant/dokumentation/PRE_D_BRG_Mai22.pdf, aufgerufen am 02.12.2022

Uponor GmbH (2020): UPONOR ECOFLEX NAHWÄRMESYSTEME. Online verfügbar unter: <https://www.ph-vertretungen.de/wp-content/uploads/2021/03/Uponor-Ecoflex.pdf>, aufgerufen am 02.12.2022

LOGSTOR A/S (2020): PRODUKTKATALOG DISTRICT ENERGY. Online verfügbar unter: <https://www.logstor.com/media/6507/produktkatalog-de-202003.pdf>, aufgerufen am 02.12.2022

Deutscher Wetterdienst (DWD) (2022): DWD OPENDATA. Online Datenbank, verfügbar unter: <https://opendata.dwd.de/>, aufgerufen am 02.12.2022

Nussbaumer und Thalmann (2014): SENSITIVITY OF SYSTEM DESIGN ON HEAT DISTRIBUTION COST IN DISTRICT HEATING. Online verfügbar unter: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/reports/iea_bioenergy_task32_cost_analysis_district_heating.pdf, aufgerufen am 02.12.2022