

Zeitschrift: Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung für Landesplanung

Band: 38 (1981)

Heft: 11

Artikel: Analyse von Wasserleitungsnetzen mit Hilfe der elektronischen Netzberechnung

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-783972>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 20.02.2025

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

Analyse von Wasserleitungsnetzen mit Hilfe der elektronischen Netzberechnung

Beispiel: Stadt Bern

Peter Kaufmann, Bau-Ing. SIA,
Balzari Blaser Schudel AG, Bern

Einleitung

Wasserleitungsnetze sind meist weiträumige Systeme, deren hydraulisches Verhalten bei extremen Belastungen – Spitzenverbrauch wie auch Ausfall von Reservoiren, Pumpwerken, Hauptleitungen – für den verantwortlichen Wasserwerksbetreiber unbedingt bekannt sein muss. Nur so kann ein Netz optimal ausgelastet und erweitert werden. Dass die erforderlichen Berechnungen nicht mehr von Hand durchgeführt werden, sondern nur noch mit dem Computer zweckmässig und genau gemacht werden können, ist allen Verantwortlichen sicher bekannt. Wesentlich ist, dass als Basis für die Berechnung eine Netzmessung durchgeführt wird. In diesem Aufsatz werden die Grundlagen aufgezählt, welche für eine elektronische Berechnung erforderlich sind. Anschliessend besprechen wir die Bearbeitung durch den Computer. Die Beurteilung der Berechnungsergebnisse wird ebenfalls erläutert. Der Aufsatz soll dazu beitragen, die zum Teil heute immer noch bestehenden Vorurteile gegenüber elektronischen Netzberechnungen abzubauen.

1. Warum elektronische Netzberechnungen?

Immer mehr Wasserversorgungen beliefern ihre Abonnenten nicht nur mit einwandfreiem Trinkwasser, sie versuchen auch, ihre Anlagen besser auszulasten, speziell die Versorgungsnetze. Damit dies möglich ist, müssen selbstverständlich Geschwindigkeiten, Drücke und Durchflussmengen in den Leitungsrohren bekannt sein.

Wenn die Berechnung dieser hydraulischen Werte bei kleinen Netzen noch verhältnismässig einfach und manuell möglich ist, so kommt bei grösseren, vermaschten Wassernetzen die Berechnung von Hand nicht in Betracht. Das Netz müsste dafür so weit vereinfacht werden, dass die Resultate nicht mehr aussagekräftig wären. Der Einsatz von leistungsfähigen Com-

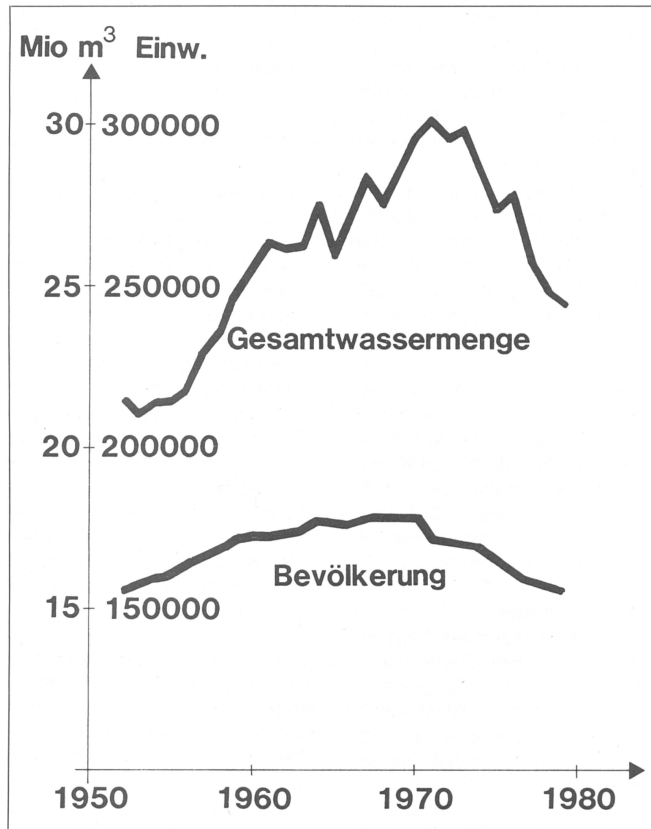


Abb. 1. Entwicklung von Bevölkerung und Jahresverbrauch für die Jahre 1950 bis 1979 der Stadt Bern.

putern und Berechnungsprogrammen, die eine grosse Zahl gleichartiger Rechenoperationen in kürzester Zeit durchführen können, ist hier sicher zweckmässig. Als Ergebnis der elektronischen Berechnung erhält der Wasserwerksbesitzer eine genaue Information über die Druck- und Wassermengenverteilungen an allen interessierenden Stellen seines Netzes.

2. Erforderliche Berechnungsgrundlagen

Möglichst genaue und vollständige Grundlagen erhöhen die Aussagekraft der elektronischen Berechnung eines Wasserversorgungsnetzes beträchtlich.

2.1 Rohrnetzplan

Erste Voraussetzung für das Gelingen einer Netzanalyse ist sicher

ein massstäblicher Rohrnetzplan, der die genauen Leitungsführungen, die Nennweiten der Leitungen, Schieber, Pumpwerke, Reservoirs und Zonengrenzen enthalten soll. Wichtig ist, dass dieser Plan auf den neusten Stand nachgeführt wurde.

2.2 Netzbelastung

Die Festsetzung der massgebenden Netzbelastung (in l/s oder l/min oder m³/h) gehört zu den schwierigsten Aufgaben des planenden Ingenieurs im Rahmen einer Rohrnetzanalyse. Die Berechnungsgrundlage muss sorgfältig erarbeitet werden, denn sie beeinflusst das Rechenergebnis sehr stark.

Als Grundlage dienen alle verfügbaren Betriebsaufzeichnungen und die Informationen über die zukünftig noch zusätzlich zu versorgenden Baugebiete.

Bei der Analyse des Wassernetzes der Stadt Bern wurden zuerst die Jahresverbrauchswerte untersucht. Da aufgrund dieser Unterlagen mittelfristig eher ein stagnierender Wasserbedarf prognostiziert werden kann, schien es sinnvoll, für die Ermittlung des Spitzenverbrauchs auf die Verbrauchswerte der letzten heissen Sommerperioden zurückzugreifen. Am meisten Wasser gab die Wasserversorgung der Stadt Bern in den Jahren 1957, 1964 und 1976 ab (Abb. 1). Sie erreichten Tagesabgaben von etwa 120 000 m³. Dieser Wert wurde denn auch als Spitzenverbrauch übernommen. Die restlichen Netzbelastungsmengen wurden ebenfalls aufgrund der Betriebserfahrungen festgelegt.

Da für die Netzberechnung aus den Tagesabgaben der massgebende Stundenanteil ermittelt wer-

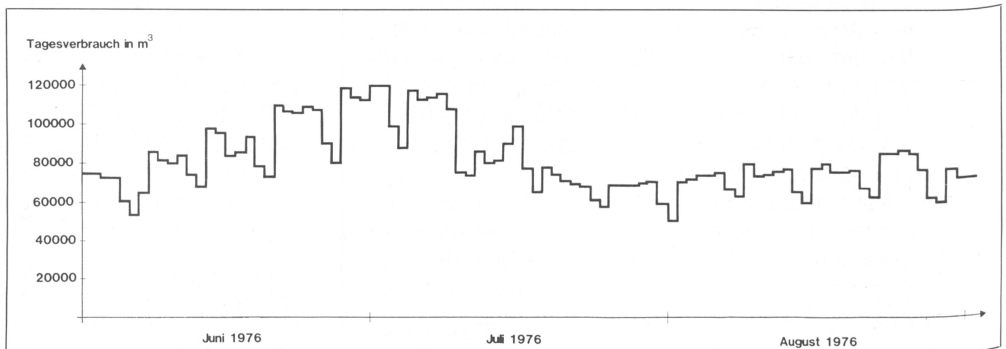


Abb. 2. Tägliche Abgabemengen der Wasserversorgung der Stadt Bern im heissen Sommer 1976.

den muss, ist die genaue Kenntnis der täglichen Verbrauchsschwankungen eine Voraussetzung. Für die Stadt Bern beträgt der höchste stündliche Verbrauch etwa 6% der Tagesabgabe (Abb. 2 und 3).

2.3 Schematischer Rechenetzplan

Jedes Versorgungsnetz besteht aus einer Vielzahl von vermaschten Einzelleitungen. Das macht eine Berechnung von Hand sozusagen unmöglich. Auch bei elektronischer Berechnung werden allein schon der Übersichtlichkeit wegen nur die grösseren Leitungen (z. B. grösser als 100 mm Durchmesser) in die Berechnung aufgenommen, und die Vielzahl der entlang der Leitungen vorhandenen Anschlüsse auf Knotenpunkte zusammengezogen.

Die so entstandene schematische Darstellung des Rohrnetzes nennt man Rechenetzplan (Abb. 4).

Das richtige Vereinfachen eines aus verschiedenen Durchmessern zusammengesetzten Leitungsnetzes und das Zusammenziehen einer Vielzahl von Hausanschlüssen auf die Knotenpunkte erlaubt die wirklichkeitstreue Berechnung der Wasserleitungsnetze. Die Erhöhung der Knoten- und Streckenanzahl durch das Berücksichtigen kleiner Leitungen bringt keine Verbesserung der Rechenergebnisse. Diese Arbeit verlangt vom planenden Ingenieur viel Erfahrung und Verständnis für hydraulische Probleme. Wichtig ist, dass alle Leitungen, die neben der Versorgung der Hausanschlüsse noch eine zusätzliche Transportfunktion haben, in den Rechenetzplan und damit in die Berechnung einbezogen werden.

2.4 Verbrauchsbelastung

Als Voraussetzung für eine exakte Durchrechnung von Versorgungsnetzen muss eine gründliche, der Wirklichkeit entsprechende Verbrauchsbelastung angenommen werden. Für die elektronischen Netzberechnungen werden hierzu die jährlichen oder halbjährlichen Zählerablesungen verarbeitet (z. B. Stadt Bern: Ablesungen des Jahres 1979). Die Verteilung des Wasserverbrauchs im Netz kann aufgrund dieser durch jährliche oder halbjährliche Zählerablesungen ermittelten Verbrauchsmengen zuverlässig berechnet werden.

Das Versorgungsgebiet wird dazu in Belastungsflächen aufgeteilt, deren Schwerpunkte mit den Knotenpunkten zusammenfallen. Die Zählerablesungen aller in eine Belastungsfläche fallenden Abonnenten werden aufsummiert und als

punktförmiger Verbrauch auf den Knoten konzentriert.

Für die Berechnung der gewünschten Netzbelastung dienen diese Knotenverbrauchsmengen als «Gewichte» bei der Verbrauchsbelastung, wobei Grossverbraucher besonders berücksichtigt werden.

3. Druckmessungen: eine Notwendigkeit

Eine Rohrnetzanalyse kann nur zuverlässig durchgeführt werden, wenn die effektive Netzrauhigkeit mit Hilfe von Messungen ermittelt und dabei gleichzeitig das Fliessverhalten des Netzes kontrolliert werden kann. Da die Rauigkeit nicht direkt im Netz bestimmt werden kann, geschieht dies durch eine Druckmessung. An zahlreichen sorgfältig ausgewählten Stellen werden während eines verbrauchsreichen Tages die Wasserdrukke gemessen. Die Messung erfolgt möglichst an heissen Sommertagen, weil dann die Druckverluste am grössten sind und die Messungenauigkeiten nicht mehr stark in Erscheinung treten.

Ein hoher Verbrauch kann auch durch zusätzliche Hydrantenentnahmen während der Messzeit simuliert werden (wie bei der Analyse des Wasserleitungsnetzes der Stadt Bern). Es gilt jedoch, je höher der natürliche Verbrauch, um so wirklichkeitsnäher wird die anschliessende Vergleichsrechnung. Der Wasserverbrauch der Grossabnehmer – bei der Messung des Wassernetzes der Stadt Bern waren es 24 – wird durch örtliche Zählerablesungen zusätzlich erfasst. Alle Netzeinspeisungen während des Messtages werden selbstverständlich ebenfalls registriert (Abb. 5).

Die Resultate der Netzmessung bilden die Grundlage für den Messvergleich. Dabei werden die Rauigkeiten der Rohrleitungen so lange planmässig verändert, bis die aufgrund der gegebenen Netzeinspeisungen errechneten Drücke an den Messpunkten mit den effektiv gemessenen Netzdrücken übereinstimmen. Die so gefundene tatsächliche Netzrauhigkeit erlaubt zuverlässige Planungsrechnungen und eine wirtschaftliche Dimensionierung neuer Leitungen.

4. Computerbearbeitung

Nachdem die Struktur des Wasser-netzes und sämtliche Netzdaten in der Rechenmaschine gespeichert sind, hat der planende Ingenieur die Aufgabe, dem Computer noch die Belastungsfälle einzugeben und die Ergebnisse zu interpretieren.

Was die Belastungsfälle betrifft, in-

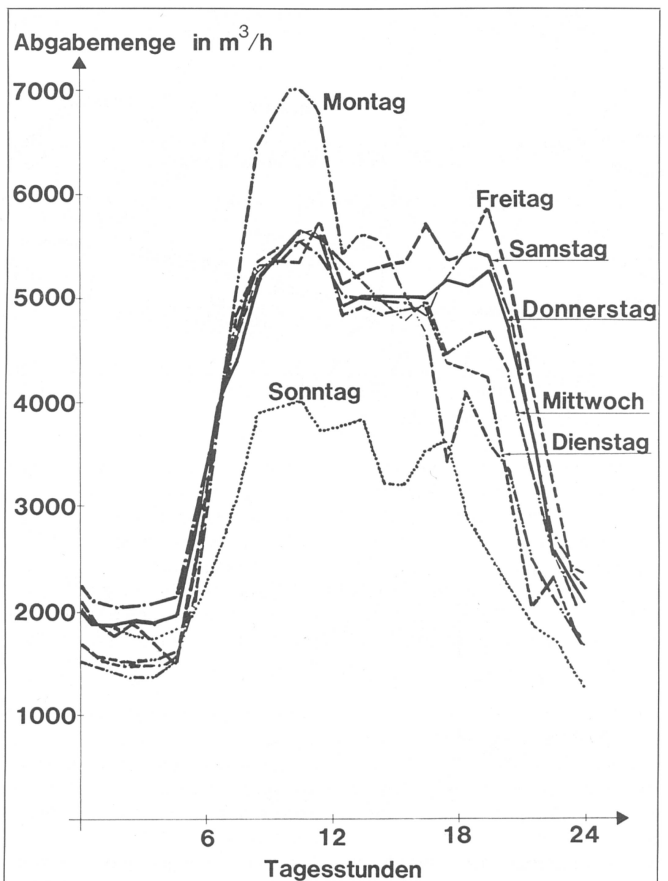


Abb. 3. Verlauf des Wasserverbrauchs über die Tagesstunden für die Stadt Bern in der Woche vom 1. bis 7. Juli 1957 (Sommerspitzenverbrauch).

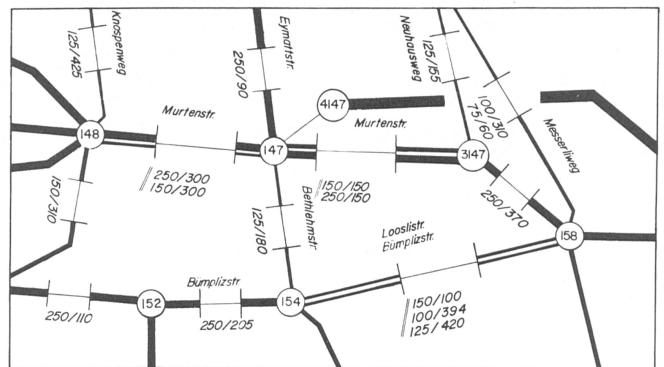


Abb. 4. Ausschnitt aus dem schematischen Rechenetzplan der Stadt Bern.

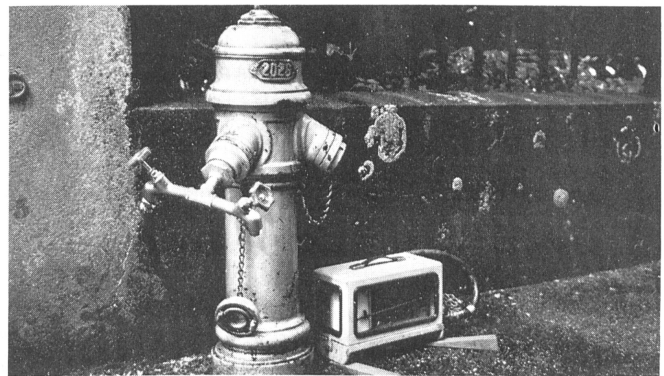


Abb. 5. Hydrant mit angeschlossenerm Druckschreiber.

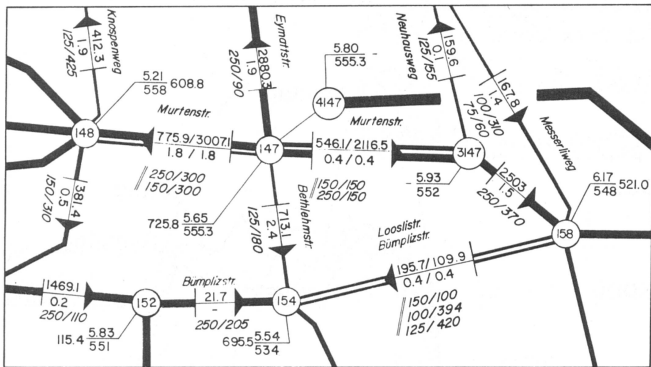


Abb. 6. Ausschnitt aus einem schematischen Rechnetzplan mit eingetragenen Berechnungsergebnissen.

interessieren im allgemeinen besonders die Druck- und Strömungsverhältnisse bei maximalen Wasserverbräuchen und die zur Erschliessung neuer Baugebiete oder überlasteter Netzabschnitte optimale Linienführung und Dimensionierung der neuen Leitungen.

Zusätzlich kann die Analyse von Wasserversorgungsnetzen auch wichtige Informationen für die Betriebsoptimierung und Angaben für die Versorgungssicherheit liefern. So wünschte zum Beispiel die Wasserversorgung der Stadt Bern gleichzeitig mit der elektronischen Netzberechnung auch die Berechnung von Ausnahmesituationen, wie zum Beispiel

- die Druck- und Strömungsverhältnisse im städtischen Verteilnetz bei Ausfall von wichtigen Hauptzubringerleitungen
- bzw. bei Ausfall eines Reservoirs.

Die Resultate dieser Notfallberechnungen erlauben dem Wasserwerkbetreiber, in effektiven Notsituationen sofort richtig zu handeln. Sie sind aber auch die Grundlage für vorsorgliche Sanierungen und Verbesserungen des Netzes, die

eigentliche Notsituationen gar nicht erst entstehen lassen. Entgegen früherer Praxis wird heute für die Berechnungen ein Planungszeitraum von etwa 10 Jahren als zweckmässig erachtet. Über diesen Zeitraum hinausgehende Bedarfsprognosen sind mit hoher Unsicherheit behaftet.

5. Berechnungsergebnisse

5.1 Resultatlisten und Pläne

Elektronische Berechnungen erfüllen ihren Zweck nur, wenn die Ergebnisse übersichtlich dargestellt werden.

Die Berechnungsergebnisse werden in einer Strecken- und einer Knotenliste ausgedruckt und enthalten folgende Daten:

Streckenliste:

- Durchflussmenge in l/s
- Druckverlusthöhe in m
- Durchflussgeschwindigkeit in m/s
- relative Druckverlusthöhe in m/km
- Nennweite in mm
- Länge der Strecke in m
- Rauigkeitsbeiwert der Leitung

Knotenliste:

- Abgabemenge im Knoten in l/s
- Ruhedruck in m/WS oder bar

– geodätische Höhe in m ü. M.

– Druckhöhe in m ü. M.

Die wichtigsten Ergebnisse werden zusätzlich in den schematischen Rechnetzplan eingetragen (Abb. 6).

Die strömungstechnischen Zusammenhänge im Netz sind auf diese Art lückenlos dargestellt. Man kann für jede gerechnete Netzbelastung bequem die Engpässe, Über- wie auch Unterbelastungen und alle anderen Störungen feststellen. Stark unterbelastete Leitungsstränge sollten saniert werden, weil das Wasser möglicherweise aufkeimt, wenn es zu lange in den Leitungen bleibt.

5.2 Beurteilung der Resultatlisten

Bei der Beurteilung der Resultatlisten der Computerberechnungen können zum Beispiel die folgenden Gesichtspunkte von Bedeutung sein:

- Ausnutzung des möglichen Druckgefälles
 - Einhaltung bestimmter Maximal- bzw. Minimalgeschwindigkeiten
 - Wirtschaftlichkeit
 - Versorgungssicherheit
- Ein Netz ist optimal ausgelegt, wenn sich entlang der Hauptflussrichtung ein angenähert stetiges Druckgefälle einstellt. Die Grenze der Leistungsfähigkeit eines Netzes ist meist dann erreicht, wenn die maximalen Ruhedrucke über- bzw. die Mindestversorgungsdrücke unterschritten werden.

Ein anschauliches Kriterium zur Analyse der Berechnungsergebnisse ist auch die Fliessgeschwindigkeit. Dabei interessieren, wie bereits angeführt, sowohl die Maximal- als auch die Minimalgeschwindigkeiten.

Gültige Kriterien für Wirtschaftlichkeit und Sicherheit können vom planenden Ingenieur nur zusammen mit den Verantwortlichen des

Wasserwerkes, welche die Rohrnetzanalyse begleiten, erarbeitet werden. Grundsätzlich verhalten sich die beiden Forderungen – Wirtschaftlichkeit und Sicherheit – gegenläufig. Versorgungssicherheit bedeutet in der Praxis Parallelleitungen, Vergrößerung der Rohrquerschnitte, mehrere Netzeinspeisemöglichkeiten, Ringleitungen usw. Das sind alles Massnahmen, die zu erhöhten Investitionen führen und damit die Wirtschaftlichkeit im Normalbetrieb belasten.

Würde man andererseits im Extremfall das Netz nur nach dem Gesichtspunkt der Kosten optimieren, so käme man zum reinen Verästelnetz.

In der Praxis müssen Wirtschaftlichkeit und Sicherheit gegeneinander abgewogen werden. Nur so kommt man jeweils zu angemessenen Lösungen.

6. Schlussfolgerungen

Je stärker ein Wasserleitungsnetz ausgelastet werden soll, um so gründlicher hat eine Rohrnetzanalyse zu sein. Die Durchrechnung eng vermaschter Versorgungsnetze mit dem Rechenschieber ist nicht möglich. Für die genaue Ermittlung der Netzdrücke, Druckverluste, Geschwindigkeiten usw. kommt nur die Computerberechnung in Frage. Im Regelfall sind verschiedene Berechnungsdurchgänge erforderlich, um die vorhandenen Engpässe im Netz zu erkennen und die geeignetsten Schritte für den Ausbau und zur Verbesserung der Versorgungssicherheit herauszufinden. Grundlage für die Berechnungen bildet eine seriös durchgeführte Netzmessung. Eine Rohrnetzberechnung ohne kontrollierende Netzmessung besitzt keine Aussagegültigkeit.

Der Schutz unserer Gewässer ist unser aller Anliegen, ...

... die Abwasserreinigung unsere Stärke

- biologische Hauskläranlagen für 6–8 Personen
- biologische Kompaktkläranlagen (23 Typen mit Kapazität bis zu 320 m³/d).
- Typisiertes Zubehör wie Pumpstationen, Fettfang, Rechen, Schlammstapler, Chlorierung, Sandfilter.

In wenigen Stunden sind unsere Anlagen montiert. Besonders hoher Reinigungsgrad bezüglich BSB, Nitrifikation und Schwebstoffen, kein Vorklärschlamm, minime Wartung.

Eigenes Servicenetz für bereits über 400 Anlagen. Sehr günstige Gesamtkosten.

MWB – denn Preis und Leistung stimmen.

Metallwerk AG Buchs

CH-9470 Buchs / SG Telefon 085 / 6 01 61

