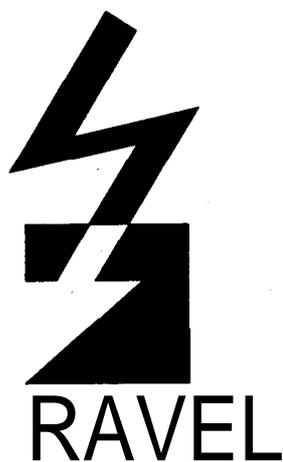


1995 724.397.12.33 D

Materialien zu RAVEL

Energiesparen in der Wasserversorgung

Tiziano Pelli



Ressort 12: Industrie

Bundesamt für Konjunkturfragen

Adressen:

Herausgeber: Bundesamt für
Konjunkturfragen (BfK)
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tel.: 031/322 21 39
Fax: 031/371 82 89

Geschäftsstelle: RAVEL
c/o Amstein + Walthert AG
Leutschenbachstrasse 45
8050 Zürich
Tel.: 01/305 91 11
Fax: 01/305 92 14

Ressortleiter: Daniel Spreng
Forschungsgruppe
Energieanalysen, ETHZ
8092 Zürich
Tel.: 01/632 41 89
Fax: 01/632 10 50

Autor: Tiziano Pelli
BMP Dr. Pelli & Co.
Splügenstrasse 3
8002 Zürich
Tel.: 01/202 21 51
Fax: 01/202 04 67

Begleitkommission:

- Prof. Dr. D. Spreng
Forschungsgruppe Energie-
analysen, ETHZ, Zürich
- Prof. Dr. W. Gujer
Institut für Hydromechanik
und Wasserwirtschaft, ETHZ,
Zürich
- U. Kamm, dipl. Ing. ETH,
SVGW, Zürich
- F. Bonoli, dipl. Ing. ETH,
Wasserversorgung Lugano,
Lugano
- J. Nipkow, dipl. Ing. ETH,
ARENA, Zürich
- D. Rosenmayr, dipl. Ing.,
ABB Netcom AG, Turgi

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Händen des Impulsprogrammes RAVEL von Dritten erarbeitet wurde. Das Bundesamt für Konjunkturfragen und die von ihm eingesetzte Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren und der zuständigen Ressortleitung .

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, Oktober 1995

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.397.12.33 D)

Materialien zu RAVEL

Energiesparen in der Wasserversorgung

Tiziano Pelli



Impulsprogramm RAVEL
Bundesamt für Konjunkturfragen

INHALTVERZEICHNIS

	Seite
1. EINFÜHRUNG	1
2. WASSERVERSORGUNG UND ENERGIE	4
2.1 Allgemeine Angaben	4
2.2 Die Berechnung des Energieverbrauches	5'
2.3 Beeinflussungsfaktoren	8
<i>Quellwasser</i>	
<i>Wasserverbrauch</i>	
<i>Wasserverluste</i>	
<i>Lage der Reservoir</i>	
<i>Wirkungsgrad der Förderaggregate</i>	
<i>Förderverluste</i>	
3 INDIKATOREN DER ENERGETISCHEN INTENSITÄT	10
3.1 Ableitung	10
3.2 Minimale Energie	10
3.3 Strukturindikator	11
3.4 Qualitätsindikator.	12
3.5 Beispiele	12
<i>Beispiel 1</i>	
<i>Beispiel 2</i>	
<i>Beispiel 3</i>	
<i>Beispiel 3</i>	
<i>Beispiel 4</i>	
<i>Beispiel 5</i>	
<i>Beispiel 6</i>	
3.6 Eigenschaften der einzelnen Indikatoren	18
4.. FÖRDERAGGREGATE	19
4.1 Allgemeines	19
4.2 Die Wahl des Förderaggregates	19
4.3 Wirkungsgrade	21
4.4 Der Einsatz von Förderaggregaten in Wasserversorgungsnetzen	23
<i>Einsatzarten</i>	
<i>Energetische Betrachtungen</i>	
<i>Wirtschaftliche Vor- und Nachteile</i>	
4.5 Drehzahlregulierung	25
5. WASSERVERLUSTE	26
5.1 Allgemeines	26
5.1.1 <i>Dejinition</i>	
5.1.2 <i>Bezugsgrösse</i>	
5.2 Ursachen von Leckstellen	28
5.2.1 <i>Rohrbrüche</i>	
5.2.2 <i>Innenkorrosion-</i>	

	Seite
5.2.3 <i>Aussenkorrosion</i>	
5.2.4 <i>Undichtheiten</i>	
5.3 Einflussfaktoren	29
5.4 Bestimmung der Verluste	31
5.4.1 <i>Bilanzierung</i>	
5.4.2 <i>Nachtflussmessungen</i>	
5.5 Überwachung des Netzes	32
5.6 Suche nach Leckstellen	32
5.6.1 <i>Allgemeins Vorgehen</i>	
5.6.2 <i>Eingrenzung</i>	
5.6.3 <i>Ortung</i>	
Abhören	
Verarbeitung elektro-akustischer Signale	
Korrelationsmethode	
Hydraulische Methoden	
6. ZU MESSENDE DATEN UND DEREN AUSWERTUNG	36
6.1 Zu ermittelnde Daten	36
<i>Eingespeiste Menge und Verbräuche.</i>	
<i>Andere Daten</i>	
<i>Auswertungen</i>	
6.2 Das minimale Data-Set	37
6.3 Der Einsatz von Data-Logger	38
<i>Data-Logger ohne externen Datenträger</i>	
<i>Data-Logger mit externem Datenträger</i>	
<i>Datenzentrale</i>	
6.4 Datenerhebung, -aufbereitung und -auswertung in einer grossen Wasserversorgung	- 3 9
7. DIE ENERGETISCHE ANALYSE EINER WASSERVERSORGUNG	40
7.1 Vorgehen	40
7.2 Beschreibung der Wasserversorgung von Lugano-Massagno	40
7.3 Wassergewinnung, -Speicherung und -verteilung	40
7.4 Wassernutzung und Verluste	4 2
7.5 Elektrizitätsverbrauch	42
7.6 Energieindikatoren	44
<i>E_{min}</i>	
<i>I₁</i>	
<i>I₂</i>	
7.7 Beeinflussungsfaktoren	46
<i>Reservoirs</i>	
<i>Zuleitungen</i>	
<i>Pumpen</i>	
<i>Verluste</i>	
7.8 Energiesparmassnahmen .	48
7.9 Elektrizitätsgewinnung	48
7.10 Einspeisung der Reservoirs während der Nacht	49

8. UNTERSUCHUNG DER BEISPIELE: KOMMENTAR DER ERGEBNISSE	51	
8.1 Ziel	51	
8.2 Daten	51	
8.3 Energieindikatoren	51	
8.4 Verbesserung des Energy-Management	53	
<i>Energiesparen</i>		
<i>Energierückgewinnung</i>		
<i>Verschiebung des Energieverbrauches in die Nachtperiode</i>		
<i>Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen</i>		
8.5 Analyseverfahren	54	
9. REFERENZEN	56	
ANHANG1	58	
ANHANG2	60	
ANHANG3	64	
1. Die industrielle Wasserversorgung von Lugano	65	
1.1 Allgemeines	65	
1.2 Energetische Indikatoren	6	5
1.3 Energiesparmassnahmen	65	
2. Die Wasserversorgung von Sagno	68	
2.1 Beschreibung	68	
2.2 Rohwassergewinnung	68	
2.3 Wassernutzung und -Verluste	69	
2.4 Elektrizitätsverbrauch	72	
2.5 Energieindikatoren	72	.
2.6 Energiesparmassnahmen	73	.
<i>Wasserquellen</i>		
<i>Leitungsnetz</i>		
<i>Reservoirs</i>		
<i>Zuleitungen</i>		
<i>Pumpenaggregate</i>		
<i>Was kann erreicht werden?</i>		

1. EINFÜHRUNG

Das Trinkwasser wird in der Schweiz aus Grundwasservorkommen (43%), Quellen (38%) und Oberflächengewässern (19%) gewonnen. Für das Fördern von Wasser zu Reservoirs oder Verbrauchern und, wenn das Wasser behandelt wird, zu Aufbereitungsstationen wird Elektrizität verbraucht. Je grösser die Höhendifferenz zwischen Siedlungsgebiet und Wasserentnahmestellen, desto energieintensiver die Wasserversorgung. Verfügt die Wasserversorgung einer Gemeinde über Quellen, deren Fassungshöhe die Erzeugung eines hinreichenden Druckes bei den Verbrauchern erlaubt (Ausnutzung der Gravitationskraft), wird keine Förderenergie benötigt.

Untersuchungen (vgl. Abs. 2) haben gezeigt, dass die Schweizer Wasserversorgungen annähernd 420 Mio kWh im Jahr benötigen. Dies entspricht ca. 1% des gesamten jährlichen Elektrizitätsverbrauches der Schweiz. Berücksichtigt man den uns nicht bekannten Wasserverbrauch für Kühl- und Heizzwecke sowie für andere industrielle Anwendungen, dürfte dieser Wert zwischen 1% und 2% liegen.

Für viele Gemeinden ist die Wasserversorgung der grösste Elektrizitätsverbraucher.

Die in diesem Bericht dargestellten Untersuchungen, die im Rahmen des RAVEL-Programmes durchgeführt wurden, zeigen auf, wie in einer Wasserversorgung Energie eingespart werden kann. Dieses Thema wird in den interessierten Fachkreisen eher selten behandelt. **Mehr** Aufmerksamkeit wird der Steuerung von Pumpwerken gewidmet, um den Elektrizitätsverbrauch so weit wie möglich in Niedertarif-Zeiten zu verschieben. Dies erlaubt den Wasserversorgungen in vielen Fällen mit bescheidenen Investitionen beträchtliche Elektrizitätskosten einzusparen. Der Bericht ist ausschliesslich Energiefragen gewidmet. Der Hauptteil der umersuchten Fragen betrifft aber Themen (wie Förderaggregate, Wasserverluste, Datenerhebung und Steuerung), die für jede Wasserversorgung von zentraler Bedeutung sind. Die Lektüre des Berichtes setzt Physikkenntnisse auf der Stufe einer technischen Fachhochschule voraus.

Im 2. Abschnitt werden einige theoretische Grundlagen über den Energieverbrauch beim Fördern von Wasser in Erinnerung gerufen. Danach wird gezeigt, wie der energetische Verbrauch einer Förderlinie sich als Produkt von Faktoren darstellen lässt, die wir als Beeinflussungsfaktoren bezeichnen. Anhand von Beispielen wird illustriert, wie der Energieverbrauch berechnet wird, wenn die einzelnen Faktoren bekannt sind. Der letzte Teil des Abschnittes ist der Besprechung des Einflusses der einzelnen Faktoren auf den Energieverbrauch gewidmet. Bei der groben Begutachtung des Energieverbrauches eines Gebäudes wird heute der Indikator "Energiekennzahl" benutzt, der als Quotient zwischen Energieverbrauch und Energiebezugsfläche definiert ist. Es wäre wünschenswert auch bei der Bewertung von Wasserversorgungen über einen solchen Indikator zu verfügen.

Der Energieverbrauch bei einer Wasserversorgung hängt aber nicht nur von einer Grösse ab (wie die Energiebezugsfläche bei den Gebäuden) sondern von mehreren, wie das geförderte Wasservolumen, die Höhe der Wassergewinnungsstellen gegenüber jener der Siedlungsfläche usw..

Im Kapitel 3 werden zwei Indikatoren definiert, die zu einer groben Begutachtung eingesetzt werden können. Der Erste beschreibt, wie gut die Lage der Wassergewinnungsstellen gegenüber jener der Siedlungsfläche genutzt wird. Wir haben ihn daher als **Strukturindikator** bezeichnet. Der zweite Indikator ist mehr mit der energetischen Qualität der technischen Installationen verbunden und wird deshalb **Qualitätsindikator** genannt.

Zuerst wird der Begriff der "**minimalen Energie**" eingeführt, d.h. der minimalen Energiemenge, die in einer Wasserversorgung theoretisch benötigt wird, um das jährlich benötigte

Wasser den Abnehmern mit einem normierten Betriebsdruck zur Verfügung zu stellen. Der **Strukturindikator** wird als Quotient zwischen dieser minimalen Energie und der jährlich verkauften Wassermenge definiert. Dieser Indikator zeigt, vom energetischen Standpunkt aus betrachtet, wie günstig (hoch gelegen) oder ungünstig (tief gelegen) die Wassergewinnungsstellen zum Siedlungsgebiet liegen. Je grösser dieser Indikator desto grösser ist der durch die Struktur der Wasserversorgung bedingte Energieaufwand. Wenn er für eine einzelne Druckzone negativ wird, besteht die theoretische Möglichkeit Elektrizität zu gewinnen.

Der Quotient zwischen der jährlich tatsächlich verbrauchten Förderenergie und der minimalen Energie für das Fördern des Wassers wird als **Qualitätsindikator** bezeichnet. Dieser Indikator zeigt, wie die einzelnen Anlagenteile energetisch effizient arbeiten. Anhand von Beispielen werden die Eigenschaften beider Indikatoren illustriert.

Abschnitt 4 enthält energetische Betrachtungen über Förderaggregate. In einem ersten Schritt werden die Eigenschaften der Kreiselpumpen beschrieben und die erzielbaren Wirkungsgrade besprochen. Danach werden die verschiedenen Einsatzarten von Förderaggregaten in einer Wasserversorgung aufgezeigt und die damit verbundenen energetischen und wirtschaftlichen Vor- bzw. Nachteile erörtert. Schliesslich wird anhand von Beispielen dargestellt, in welchen Fällen drehzahlregulierbare Förderaggregate mit Vorteil eingesetzt werden.

In Kapitel 5 werden Ursachen und Einflussfaktoren von Wasserverlusten besprochen. In einem zweiten Teil sind die Verfahren zur Bestimmung der Verluste und deren Überwachung beschrieben. Der letzte Teil ist den verschiedenen Methoden der Verlustortung gewidmet.

Im 6. Kapitel werden die zu messenden Grössen sowie die durchzuführenden Auswertungen definiert. Dabei wird festgelegt, welche Daten bezüglich Wasserentnahme und -verbrauch erhoben werden müssen, damit eine Energieanalyse durchgeführt werden kann. Grosse Bedeutung kommt einer straffen, geregelten Datenauswertung zu.

Unter Berücksichtigung der beschränkten Möglichkeiten von kleineren Wasserversorgungen wird ein **minimales** Data-Set festgesetzt, welches energetische Untersuchungen gerade noch zulässt. Danach werden die verschiedenen Möglichkeiten der Datenerhebung und -speicherung mit Data-Loggen, Speicherkarten und Datenübermittlung zu einer Zentrale erläutert. Der letzte Teil ist der Nutzung der erhobenen Daten für Überwachungs-, Steuerungs- und Auswertungszwecke gewidmet.

Mit Hilfe der Analyse von mehreren Wasserversorgungen wurde die Aussagekraft der abgeleiteten Indikatoren getestet und die konkreten Energiesparmöglichkeiten untersucht. Im Kapitel 7 und im Anhang wird über die Analyse von 3 Beispielen und die damit erzielten Ergebnisse berichtet. Einerseits wurde die Wasserversorgung eines kleinen Dorfes (Sagno) mit sehr schwierigen Bedingungen gewählt (schwieriger Zugang zum Rohwasser, ungünstige topographische Situation, sehr beschränkte finanzielle Mittel), andererseits jene einer gut organisierten Stadt (Lugano) mit 25'000 Einwohner, 30'000 Arbeitsplätze und 4'000 Hotelbetten. Zwei der analysierten Versorgungen beliefern ein Gebiet mit Trinkwasser, die Dritte versorgt das Zentrum einer Stadt mit Industrierwasser.

Bei allen drei Wasserversorgungen wurde ein beträchtliches Sparpotential festgestellt. Anhand einer Analyse der Wasserversorgung von Lugano-Massagno wird gezeigt, wie die energetische Untersuchung einer Wasserversorgung durchgeführt werden muss. Zuerst wird die Problematik der Ermittlung der Daten für die Berechnung der energetischen Indikatoren besprochen, danach wird eine eingehende Analyse der einzelnen Beeinflussungsfaktoren vorgenommen, die zur Ausarbeitung von Energiesparmassnahmen oder zu einer zeitlichen Verschiebung des Energiebezuges (in die Nachtperiode) unentbehrlich ist.

In Abschnitt 8 werden die Ergebnisse der Beispieluntersuchungen mit Hilfe von Quervergleichen kommentiert, die Grenzen der abgeleiteten energetischen Indikatoren aufgezeigt und die wichtigsten Massnahmen erwähnt, die zu Energieeinsparungen führen können.

Welche Massnahmen müssen getroffen werden, um Energie zu sparen?

Messungen, Datenerhebung und Auswertungen

Um Elektrizität sparen zu können, muss der Betreiber einer Wasserversorgung die Wasserverbräuche der einzelnen Abnehmer kennen. Es ist daher wichtig, dass die Wasserversorgungsbetriebe das gelieferte Wasser nicht nach Pauschalen, sondern nach dem effektiven Verbrauch verrechnen. Zu diesem Zweck soll bei jedem Abnehmer ein Wasserzähler installiert werden, der periodisch (jährlich) abgelesen wird. Diese Verrechnungsart fördert das Sparen von Wasser und vermindert damit den Elektrizitätsverbrauch. Es gibt noch viele Gemeinden in der Schweiz, die nicht wissen wieviel Wasser ihm Abonnenten tatsächlich verbrauchen. In dieser Beziehung werden in relativ kurzer Zeit Verbesserungen eintreten, weil vor kurzem kantonale Verordnungen in Kraft getreten sind, welche die Wasserversorgungen verpflichten, Wasserzähler zu installieren.

Es ist weiter sehr wichtig zu wissen, wieviel Wasser während einer bestimmten Zeitperiode (ein Jahr) ins Netz eingespeist wird. Während das geförderte Wasser sehr oft gemessen wird, wird der Zufluss aus Quellwasser in vielen kleinen und mittleren Gemeinden nicht ermittelt.

Wasserverluste

Wasserverluste zu vermindern bedeutet auch Energie zu sparen, weil das im Verteilnetz verlorene Wasser in den meisten Fällen auch gepumpt werden muss. Es ist daher von grosser Bedeutung, dass die Verluste als Differenz zwischen verbrauchten und eingespeisten Wassermengen ermittelt werden können. Den gemessenen Wasserverbräuchen müssen dabei die nicht gemessenen (Brunnen, Filterreinigung, Netzreinigung, Löschwasser usw.) hinzuaddiert werden. Durch kontinuierliche Messung des Abflusses aus den Reservoirs während verbrauchsarmer Zeitperioden (nachts) sollte die Entwicklung der Wasserverluste innerhalb eines Jahres überwacht werden. Für die Lecksuche können heute die Dienste zahlreicher Firmen in Anspruch genommen werden, die über effizienten Lecksuchmethoden verfügen.

Um die Schadenhäufigkeit und das Entstehen von Wasserverlusten zu vermindern, ist es u.a. notwendig das Leitungsnetz ständig zu erneuern. Der Verlegung und dem einzusetzenden Leitungsmaterial soll grösste Beachtung geschenkt werden, um zukünftige Rohrbrüche und Korrosionsschäden so klein wie möglich zu halten.

Pumpenwirkungsgrade

In einer Wasserversorgung wird Elektrizität von Förderaggregaten (Pumpen mit ihrem Antrieb) verbraucht. Den Wirkungsgraden solcher Anlagen soll besonderes Gewicht beigemessen werden. In gewissen Fällen lassen sich mit Vorteil drehzahlgeregelte Förderaggregate einsetzen.

Druckverminderung

Der Druck im Netz soll so klein wie möglich gehalten werden. Dies unter Berücksichtigung der Anforderungen der Versorgung mit Trinkwasser und Löschwasser. Hohe Drucke zu erzeugen erfordert (wenn das Wasser gepumpt werden muss) entsprechend viel Energie. Sie erhöhen zudem die Wasserverluste in beträchtlichem Ausmass.

In der Schweiz befinden sich viele Siedlungsgebiete in Hangzonen. Um den teuren Bau von Reservoirs zu sparen, werden oft Druckzonen gebildet, die sich auf Gebiete mit zu grossen Höhenunterschieden erstrecken. Da auch der obere Teil einer Hangzone mit genügendem Druck versorgt werden muss, werden die Reservoirs entsprechend hoch angelegt, mit der Folge, dass in tiefergelegenen Teilen der Druckzone ein Ueberdruck herrscht. Solche Druckzonen lassen sich oft mit Vorteil in zwei Einzelzonen teilen, die mit Druckmduzierventilen getrennt sind. Die tiefer liegende Zone wird dann mit neu installierten drehzahlgeregelten Pumpen versorgt, die unabhängig von den schon bestehenden Pumpen arbeiten.

2. WASSERVERSORGUNG UND ENERGIE

2.1 Allgemeine Angaben

Das Trinkwasser wird in der Schweiz aus Grundwasservorkommen (43%), Quellen (38%) und Oberflächengewässern (19%) gewonnen. Dabei wird in der Regel Energie in Form von Elektrizität verbraucht. Der Hauptteil davon wird für das Fördern von Wasser zu Aufbereitungsstationen (wenn das Wasser behandelt wird), Reservoirs oder Verbrauchern verwendet. Je grösser die Höhendifferenz zwischen Siedlungsgebiet und Wassergewinnungstellen, desto energieintensiver die Wasserversorgung. Verfügt die Wasserversorgung einer Gemeinde über Quellen, deren Fassungshöhe die Erzeugung eines hinreichenden Druckes bei den Verbrauchern erlaubt (Ausnutzung der Gravitationskraft), wird keine Förderenergie benötigt.

Gemäss einer Hochrechnung der Ergebnisse einer Umfrage des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) bei seinen Mitgliedern (Ref. 9) betrug die Wassergewinnung der Trinkwasserversorgungen 1990 1162 Mio m³. In diesen Zahlen ist die Wassergewinnung für industrielle Zwecke nur teilweise enthalten. Der spezifische Energieverbrauch lag bei 0.36 kWh/m³. Daraus ergibt sich für die Schweizer Wasserversorgungen ein totaler Energieverbrauch von 420 Mio kWh, was ca. 1% des gesamten jährlichen Elektrizitätsverbrauches der Schweiz entspricht. Berücksichtigt man den nicht erfassten Wasserverbrauch (für Kühl- und Heizzwecke sowie für andere industrielle Anwendungen), dürfte dieser Wert zwischen 1% und 2% liegen.

In Fig. 1 ist das Histogramm des Energieverbrauches pro m³ ins Netz eingespeistes Wasser abgebildet, welches mit Hilfe der Ergebnisse einer SVGW-Umfrage im Jahre 1993 bestimmt worden ist.

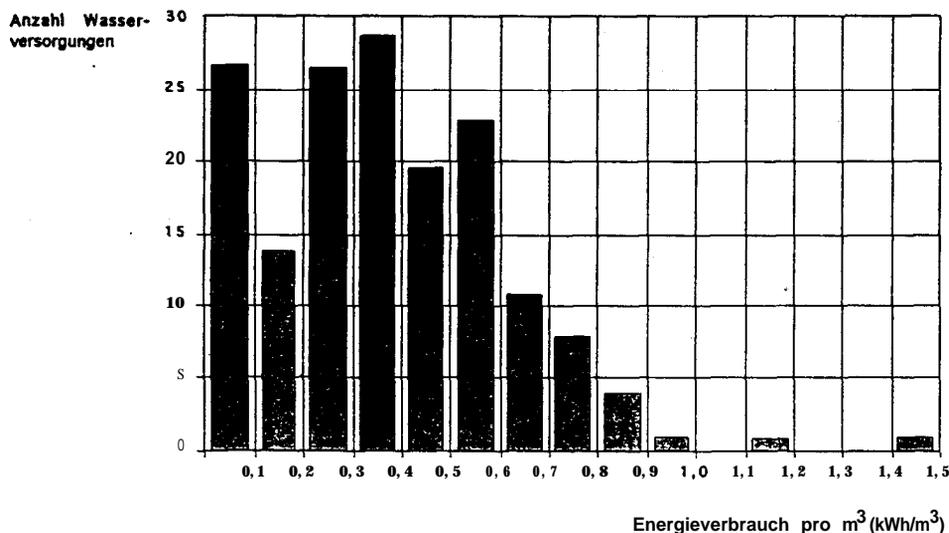


Fig. 1: SVGW - Trinkwasserstatistik 1993. Histogramm des Energieverbrauches pro m³ Wasser von 171 Wasserversorgungen.

Fig. 1 zeigt, dass die spezifischen Energieverbräuche sehr stark schwanken. Dies ist hauptsächlich auf die unterschiedliche Höhendifferenz zwischen Wasserentnahme und Wasserverbrauch

zurückzuführen oder genauer ausgedrückt: auf die Differenz zwischen der potentiellen Energie des genutzten Wassers bei den Verbrauchern und jener bei der Gewinnung.,

In einer Wasserversorgung wird Energie für folgende Zwecke gebraucht:

- Fördern von Wasser,
- Wasseraufbereitung.

Bei der Wasseraufbereitung sind hauptsächlich die Ozonierung und das UV-Verfahren energieintensiv. Diese Verfahren werden aber praktisch nur bei der Nutzung von See- und Flusswasser verwendet.

Wie wir gesehen haben, wird in der Schweiz nur 19% des Rohwassers aus Oberflächengewässern entnommen. In Durchschnitt beträgt der Energieaufwand für die Aufbereitung lediglich einige Prozente des Energieverbrauches für die Förderarbeit. Daher befassen wir uns in dieser Studie in erster Linie mit dem Energieverbrauch für die Wasserförderung.

Die Versorgung der Einwohner, Betriebe oder Hydranten mit Wasser erfolgt in mehreren Verfahrensschritten:

- Wassergewinnung aus Quellen, Grundwasser oder Gewässern (Flüsse und Seen),
- Wasseraufbereitung,
- Fördern von Wasser zu Reservoirs oder direkt ins Netz,
- Wasserverteilung durch ein geeignetes Leitungsnetz ausgehend von Reservoirs.

Energie wird hauptsächlich für die Wassergewinnung und für das Fördern von Wasser gebraucht.

Nicht immer sind alle Verfahrensschritte vorhanden. So werden Grund- und Quellwasser oft nicht aufbereitet; oder das Wasser wird aus Quellen gewonnen, die höher als die Reservoirs liegen, und fliesst direkt durch die Gravitationskraft von den Fassungen zu den Reservoirs.

2.2 Die Berechnung des Energieverbrauches

Der Energieverbrauch einer Förderlinie, welche Wasser von der Höhe h_d zur Höhe h_s transportiert, ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Menge des Wassers, das transportiert werden muss
- Höhenunterschied ($h_d - h_s$)
- Dynamische Verluste in der Transportleitung
- Wirkungsgrad des Förderaggregates
- Wasserverlust in der Transportleitung während der Förderzeit

Im eingerahmten Kasten ist die Formel abgeleitet, die erlaubt diesen Energieverbrauch in Abhängigkeit der obenerwähnten Faktoren zu berechnen. Die gleiche Formel kann für die Berechnung der Förderenergie verwendet werden, die für die Versorgung einer Druckzone benötigt wird, unter den Annahmen:

- Die Druckzone wird nur von einem Reservoir eingespeist,
- Das Reservoir wird von einer einzigen Förderlinie versorgt.

Wir drücken E in kWh aus, setzen $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ und $\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$. Die im eingerahmten Kasten abgeleiteten Formel wird:

$$E = \frac{2.73 \cdot 10^{-3} (h_d - h_s) \text{ BV} \cdot Q_v (1 + p_v/100)}{\eta}$$

Nach Ref. 10, Seite 382 lässt sich die Leistung P eines Förderaggregates nach folgender Formel berechnen:

$$P = \Delta p Q \eta^{-1}$$

wobei:

P = Leistung W,
 Ap = Förderdruck N m⁻²,
 Q = Förderstrom m³ s⁻¹,

η = Wirkungsgrad des Förderaggregates.

Für die Definition der Förderdruckes verweisen wir auf Ref. 10, Seite 381.

Ausgehend von dieser Gleichung lässt sich der Energieverbrauch E während der Zeitperiode At wie folgt ausdrücken:

$$E = \int \Delta p Q \eta^{-1} dt$$

wobei t die Zeit darstellt. Integriert wird über die Zeitspanne At.

Um den Energieverbrauch eines Förderaggregates in einfacher Form angenähert auszudrücken, setzen wir für Ap und η Durchschnittswerte ein. Darüberhinaus benützen wir statt Ap die Förderhöhe Ah

Wir erhalten damit:

$$E \cong \rho g \Delta h W \eta^{-1}$$

wobei:

E = verbrauchte Energie Joules,
 W = $\int Q dt$ gefördertes Wasser m³,
 p = Dichte des Wassers kg m⁻³,
 g = Erdbeschleunigung ms⁻²,
 Ah = Förderhöhe (Manometerhöhe) m.

Um den Einfluss praxisrelevanter, den Energieverbrauch beeinflussender Faktoren aufzeigen zu können, schreiben Wir

$$Ah' = (h_d - h_s) BV$$

wobei:

h_d = durchschnittliche Wasserspiegelhöhe (der Wasserabgabestelle oder des Reservoirs) auf der Druckseite des Förderaggregates,

h_s = durchschnittliche Wasserspiegelhöhe auf der Zulaufseite des Förderaggregates,

BV = Korrekturfaktor für Förderverluste, ausgedrückt als Quotient zwischen totaler Förderhöhe und $(h_d - h_s)$,

$$W = Q_V (1 + PV/100)$$

wobei:

Q_V = Wasserabgabemenge bei den Verbrauchern, die von dem in Frage stehendem Förderaggregat während der Zeitperiode At versorgt werden

p_v = durchschnittliche prozentuale Wasserverluste (in Prozent der abgegebenen Wassermenge) der versorgten Druckzone

$$\text{Wir erhalten: } E \cong \rho g (h_d - h_s) \cdot BV \cdot Q_V (1 + p_v/100) \eta^{-1}$$

wobei:

E = Energie kWh

h_d = durchschnittlicher Wasserspiegelhöhe (der Wasserabgabestelle oder des Reservoirs) auf der Druckseite des Förderaggregates (oder durchschnittliche Förderhöhe) m

h_s = durchschnittlicher Wasserspiegel auf der Zulaufseite des Förderaggregates m

BV = Korrekturfaktor für Förderverluste, ausgedrückt als Quotient zwischen totaler Förderhöhe und $(h_d - h_s)$ (vgl. Ref. 10, S. 381)

QV = Wasserabgabe bei den Verbrauchern

p_v = prozentuale Wasserverluste der versorgten Druckzone

η = durchschnittlicher Wirkungsgrad des Förderaggregates.

Wird eine Druckzone mit mehreren Förderlinien versorgt, dann wird die insgesamt verbrauchte Energie als Summe der Förderenergien der einzelnen Förderlinien ausgedrückt.

Anhand eines Beispiels (vgl. Fig. 2) illustrieren wir die Verwendung der obenstehenden Formel.

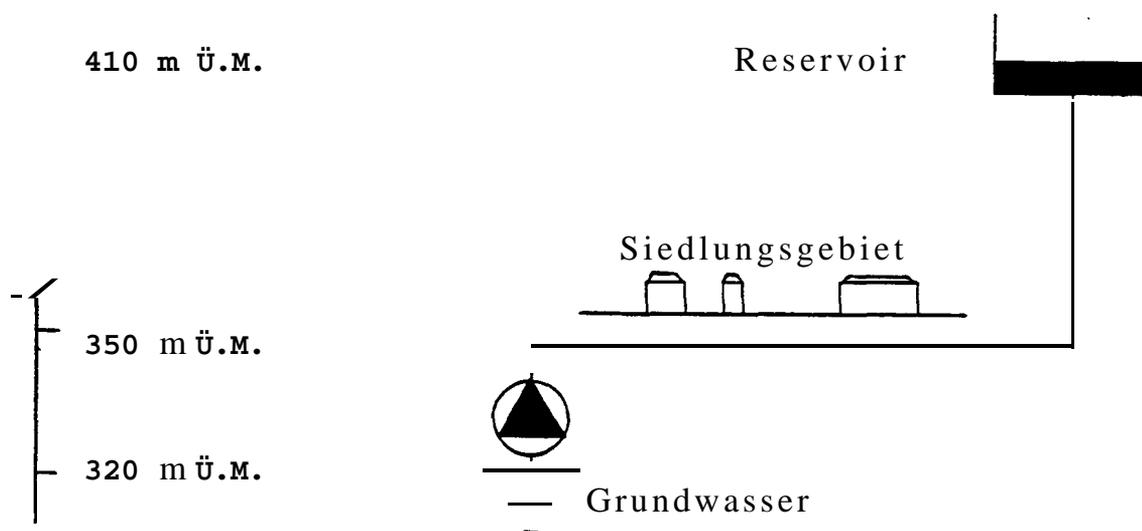


Fig. 2 Berechnungsbeispiel

Die Wasserversorgung eines Dorfes von 3'000 Einwohner (Höhe ü.M.: 350 m) bezieht das Trinkwasser aus dem Grundwasser in einer durchschnittlichen Tiefe von 320 m.ü.M.. Das Wasser wird zu einem Reservoir auf eine durchschnittliche Höhe von 410 m.ü.M. gepumpt. Von diesem aus wird es dann via Leitungsnetz verteilt. Der tägliche durchschnittliche Wasserverbrauch pro Einwohner beträgt 300 l. Die Wasserverluste im Netz betragen 10 % der total verrechneten Wassermenge. Die Förderaggregate arbeiten mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von 0.65 und der Korrekturfaktor für Förderverluste beträgt 1.05. Zu berechnen ist der jährliche Energieverbrauch.

Die Faktoren der obenerwähnten Formel lauten:

$$Q_v = 0.3 \cdot 365 \cdot 3000 = 328'500 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$p_v = 10\%$$

$$h_d = 410 \text{ m}$$

$$h_s = 320 \text{ m}$$

$$\eta = 0.65$$

$$BV = 1.05$$

Der Energieverbrauch beträgt:

$$E \cong 2.73 \cdot 10^{-3} \cdot 3.285 \cdot 105 \cdot 1.1 \cdot (410 - 320) \cdot (1/0.65) \cdot 1.05 = 143'000 \text{ kWh/a}$$

Der Elektrizitätsverbrauch pro Einwohner beträgt 47.7 kWh/a und pro m³ verkauftem Wasser 0.44 kWh.

2.3 Beeinflussungsfaktoren

Die in Kapitel 2.2 abgeleitete Formel widerspiegelt die Faktoren, welche den Energieverbrauch beeinflussen. Sie werden im folgenden Abschnitt einzeln erläutert

Quellwasser

Wir beginnen mit der Höhe h_s des Wassergewinnungsstandortes. Ist diese Höhe grösser als jene des Wasserreservoirs, dann ist keine Pumpenarbeit nötig, um das Wasser zu fördern. In diesem Falle wird keine Energie (für Förderzwecke) verbraucht.

Die Nutzung von Quellen, deren Fassungen höher als das Versorgungsgebiet liegen, stellt eine gute Energiesparmöglichkeit dar. Auch wenn das Quellwasser in der Schweiz gut genutzt wird (38% des gewonnenen Wassers ist Quellwasser), besteht eine gewisse Tendenz, weniger ergiebige Quellen nicht mehr zu nutzen bzw. zu fassen. Dies lässt sich mit den hohen Kosten erklären, mit welchen die Nutzung von Quellwasser verbunden sein kann (Bau oder Erneuerung einer Fassung, Errichten einer Schutzzone). Da die Ergiebigkeit einer Quelle in der Regel beträchtlichen jahreszeitlichen Schwankungen ausgesetzt ist, vermag das Quellwasser in gewissen Perioden eines Jahres den Wasserbedarf nicht allein zu decken. Dies zwingt die Wasserversorgungen Wasser aus einem Grundwasservorkommen zu gewinnen und die dafür notwendigen Brunnenanlagen zu bauen. Daher stellen Quellfassungen eine zusätzliche Investition dar, **die** nicht immer durch Energieeinsparungen finanziert werden kann. Quellfassungen weisen aber andere positive Aspekte auf, wie das zur Verfügungstellen von Notwasser.

Wasserverbrauch

Auch wenn wir uns in dieser Arbeit nicht mit der Problematik des sparsamen Umgangs mit Wasser auf der Verbraucherseite befassen, mochten wir auf seine grosse Bedeutung hinweisen. In letzter Zeit sind auf dieser Ebene auch bedeutende Erfolge erzielt worden. Die Bemühungen der Umwelt- und Konsumentenverbände durch Bekanntmachung der Wasserverbräuche vieler Geräte sowie das erhöhte Umweltbewusstsein der Bevölkerung haben zumindest zu einer Stabilisierung des Wasserverbrauches geführt. Diese Tendenz ist durch die Tatsache verstärkt worden, dass industrielle Grossverbraucher immer mehr Wasserrückgewinnungsanlagen einsetzen, um Wasser- und Abwassergebühren zu sparen.

Wasserverluste

Der Faktor p_v wiedergibt in obiger Formel den Einfluss der Wasserverluste auf den Energieverbrauch. Die Höhe der Wasserverluste einer Wasserversorgung sind oft ein Indikator für die Qualität des Leitungsnetzes. Wird ein Leitungsnetz nicht genügend unterhalten und erneuert, so nehmen die Wasserverluste und die Versorgungsunterbrüche in der Regel zu. Die Vermin-

derung der Wasserverluste erfordert eine kontinuierliche Netzüberwachung, welche erlaubt, bedeutende Rohrbrüche rasch zu entdecken und zu reparieren. Eingehende Netzuntersuchungen sind auch notwendig um Prioritäten bei der Netzerneuerung festzusetzen. Massnahmen zur Netzüberwachung und Ortung von Leckstellen werden im Abschnitt 5 besprochen

Lage der Reservoirs

Je grösser die Differenz ($h_d - h_s$) desto höher der Energieverbrauch. Besonders in Berg- und Hügellzonen kommt es relativ häufig vor, dass Reservoirs aus historischen oder anderen Gründen zu hoch angelegt sind. Ein zu hoch gelegenes Reservoir bewirkt nicht nur einen höheren Energieverbrauch für die Wasserförderung, sondern auch eine erhöhte Leitungsbruchrate, eine schnellere Verschlechterung des Netzzustandes sowie höhere Wasserverluste.

Zur Versorgung eines flachen Siedlungsgebietes mit einer auf 20 m begrenzten Gebäudehöhe genügt zum Beispiel ein Reservoir in 60 m Höhe (unter der Annahme, dass das Gebiet mit einem guten Leitungsnetz erschlossen ist). Für die Versorgung eines Hochhauses in erhöhter Lage kann der Druck eventuell lokal verstärkt werden.

Wirkungsgrad des Förderaggregates

In den Wasserversorgungen der schweizerischen Gemeinden wird Wasser mit Pumpen gefördert, die von elektrischen Motoren angetrieben werden. Der Wirkungsgrad η eines Förderaggregates ist das Produkt der Wirkungsgrade der Pumpe (in der Regel einer Kreiselpumpe) und des Motors.

Der Wirkungsgrad einer Pumpe hängt stark vom Förderstrom (V_s) ab. Eine Pumpe muss so gewählt werden, dass Druck und Fördermenge möglichst nah bei ihrem optimalen Arbeitspunkt liegen. Der Arbeitspunkt kann sich zum Beispiel mit der Zeit verschieben, wenn durch Ablagerungen an den Rohrwänden der dynamische Widerstand einer Leitung zunimmt. Der Wirkungsgrad einer Pumpe verschlechtert sich mit ihrer Abnutzung. Durch regelmässige Überwachung und Wartung kann ein hoher Wirkungsgrad erhalten bleiben. Eigenschaften, Wahl, Steuerung, Einsatz, Überwachung und Wartung von Förderaggregaten werden in Abschnitt 4 besprochen.

Förderverluste

Zu eng kalibrierte Verbindungsleitungen zwischen Entnahmestellen und Reservoirs haben höhere Werte von BV zur Folge. Ablagerungen an den Rohrwänden und Korrosionsschäden der Zuleitungen vergrössern den Leitungswiderstand und damit den Wert von BV. Wird das Wasser direkt ins Netz eingespeist, dann nimmt der Durchschnittswert von BV ab (vgl. Abschnitt 4.4).

3 INDIKATOREN DER ENERGETISCHEN INTENSITÄT

3.1 Ableitung

Bedingt durch die Lage der Wassergewinnung sowie durch die Lage der Verbraucher muss in einer Wasserversorgung über eine bestimmte Zeitperiode (sagen wir ein Jahr) eine minimale Energiemenge eingesetzt werden, um die Abnehmer mit Wasser zu beliefern. Diese Energie ist die Differenz zwischen der potentiellen Energie der genutzten Wassermenge (mit dem nötigen Betriebsdruck) bei den Abnehmern und der potentiellen Energie der gleichen Wassermenge bei den Wassergewinnungsstellen.

3.2 Minimale Energie

Mit E_{\min} bezeichnen wir die während eines Jahres theoretisch minimal benötigte Energie. E_{\min} ist die Differenz zwischen der für die Förderarbeit minimal benötigten Energie und der aus hoch gelegenen Quellen maximal zurückzugewinnenden Energie.

Wie erwähnt lässt sich E_{\min} mit Hilfe der Differenz der potentiellen Energien der jährlich verkauften Wassermenge bei den Abnehmern (mit einem normierten Betriebsdruck) und bei den Wassergewinnungsstellen berechnen.

Wir schreiben:

$$E_{\min} = E_{pv} - E_{pq} + E_{nd}$$

wobei:

E_{pv} = Potentielle Energie (auf das Meeresniveau bezogen) der jährlich genutzten (verkauften) Wassermenge bei den Abnehmern in kWh

E_{pq} = Potentielle Energie (auf das Meeresniveau bezogen) der jährlich genutzten Wassermenge bei der Wassergewinnung (bei Quell-, Grund- und Seewasser) in kWh

E_{nd} = Theoretische Energie für die Erzeugung eines Betriebsdruckes ausgehend von der Abnehmerhöhe in kWh. Als Betriebsdruck wählen wir 6 bar.

E_{pv} und E_{nd} lassen sich als Summe der entsprechenden Energien bei den einzelnen Abnehmern einer Druckzone darstellen. Ähnliches gilt für E_{pq} deren Werte über alle Wassergewinnungsstellen summiert werden müssen. Die Definition der Berechnungsformeln dieser Energien ist im eingerahmten Kasten angegeben.

Wird E_{\min} für eine ganze Wasserversorgung bestimmt, dann muss noch über alle Druckzonen aufsummiert werden.

Spezialfall

Befinden sich alle Wasserabnehmer auf der gleichen Höhe H_V (m.ü.M.) und wird Wasser aus einer einzigen Quelle auf der Höhe H_E (m.ü.M.) entnommen, dann lässt sich E_{\min} (in kWh) wie folgt vereinfacht ausdrücken:

$$E_{\min} = 2.73 \cdot 10^3 [Q_v (H_v + 60) - \frac{Q_E H_E}{(1 + p_v/100)}]$$

dabei bedeuten:

Q_v = Gesamtmenge des genutzten (verkauften) Wassers in m^3

Q_E = Gesamtmenge des gewonnenen Wassers in m^3

p_v = prozentuale Wasserverluste (in Bezug auf das verkaufte Wasser)

$$E_{pv} = p g \cdot 2.78 \cdot 10^{-7} \sum_{i=1}^{i=aa} (Q_v)_i \cdot H_i = 2.73 \cdot 10^{-3} \sum_{i=1}^{i=aa} (Q_v)_i \cdot H_i$$

wobei:

$(Q_v)_i$ = vom i-ten Abnehmer jährlich genutzte Wassermenge in m³

H_i = Quote (Höhe) des i-ten Abnehmers in m

aa = Anzahl Abnehmer, Abnehmergruppen in der betrachteten Druckzone

g = Erdbeschleunigung in m s⁻² mit $g = 9.81$ m s⁻²

p = Dichte des Wassers in kg m⁻³, mit $p = 1000$ kg m⁻³

und

$$E_{pp} = p g \cdot 2.78 \cdot 10^{-7} (1 + p_v/100)^{-1} \sum_{k=1}^{k=ae} (Q_E)_k \cdot H_k =$$

$$2.73 \cdot 10^{-3} (1 + p_v/100)^{-1} \sum_{k=1}^{k=ae} (Q_E)_k \cdot H_k$$

wobei:

$(Q_E)_k$ = jährlich entnommene Wassermenge bei der k-ten Wassergewinnungsstelle in m³

H_k = Quote der k-ten Entnahmestelle in m H.ü.M.

ae = Anzahl Entnahmenstellen der betrachteten Druckzone

p_v = prozentualer Anteil der Verluste (in Prozent der von den Verbrauchern konsumierten Wassermenge)

und

$$E_{nd} = p g \cdot 2.78 \cdot 10^{-7} \sum_{i=1}^{i=aa} (Q_v)_i \cdot 60 = 163.8 \cdot 10^{-3} \sum_{i=1}^{i=aa} (Q_v)_i$$

In einer Wasserversorgung sind im allgemeinen die Werte $(Q_v)_i$ und $(Q_E)_k$ der einzelnen Druckzonen bekannt. Erstere werden dazu benutzt, die Wasserverbräuche zu verrechnen. Zweitens stellen die jährlich gewonnenen Wassermengen dar. Die eingesetzten Höhen können aus den Katasterplänen abgelesen werden.

3.3 Strukturindikator

Um den Einfluss der Grösse der Wasserversorgung auf den Indikator aufzuheben, normieren wir den minimalen Energieverbrauch (in kWh) mit der total genutzten Wassermenge (in m³). Wir definieren den Indikator 11 wie folgt:

$$11 = E_{\min} / Q_v$$

wobei:

E_{\min} = theoretisch minimaler Energieverbrauch in kWh. E_{\min} wird negativ, wenn die

Wassergewinnungsstellen so hoch gelegen sind, dass theoretisch Elektrizität gewonnen werden kann.

Q_v = Gesamtmenge des jährlich von den Verbrauchern genutzten Wassers in m^3
 I_1 wird in kWh/m^3 ausgedrückt

Der Indikator I_1 ist in jeder Situation anwendbar, auch wenn keine Energie gebraucht wird. Je grösser der Indikator desto grösser ist der von der Struktur der Wasserversorgung bedingte Energieaufwand. I_1 zeigt wie die Wassergewinnungsstellen in Bezug auf das Siedlungsgebiet energetisch günstig (hoch gelegen) oder ungünstig (tief gelegen) liegen.

3.4 Qualitätsindikator

Ein Indikator der energetischen Qualität soll in erster Linie aufzeigen, ob eine Wasserversorgung die notwendige Energie sparsam einsetzt oder nicht, Dies ist nur möglich, wenn die effektiv verwendete Energie für die Förderarbeit mit der minimal notwendigen verglichen wird. Damit die Aussagen eines Indikators nachvollziehbar bleiben, soll ein solcher Vergleich möglichst einfach erfolgen.

Wir definieren den Qualitätsindikator I_2 durch Quotientenbildung. Er lautet

$$I_2 = E / FE_{\min}$$

wobei

E = Effektiv verbrauchte Förderenergie ohne Abzug der zurückgewonnenen Energie aus Wasser (von hochgelegenen Quellen), das nicht gefördert worden ist. In kWh ausgedrückt.
 FE_{\min} = Minimale Energie für das Fördern des Wassers.

Im Gegensatz zu E_{\min} wird bei der Berechnung von FE_{\min} die aus hochgelegenen Quellen maximal zuzugewinnbare Energie nicht abgezogen.

I_2 hat den grossen Vorteil direkt proportional zu E , d.h.-auch zu den Faktoren $1 + p_v/100$, $h_d - h_s \eta^{-1}$ und BV (vgl. Abschnitt 2.2) zu sein. Der Einfluss dieser Faktoren auf I_2 ist also direkt nachvollziehbar. Je grösser die Wasserverluste, der Druck im Leitungsnetz und die Druckverluste bei den Förderleitungen desto höher wird I_2 . Das Gegenteil gilt für die Wirkungsgrade der Förderaggregate.

FE_{\min} lässt sich berechnen, analog zu E_{\min} , als Differenz zwischen der potentiellen Energie des geförderten Wassers bei den Abnehmern (mit dem Betriebsdruck von 6 bar) und jener des geforderten Wassers bei den Gewinnungsstellen. Wir schreiben:

$$FE_{\min} = FE_{pv} - FE_{pq} + FE_{nd}$$

Wir bezeichnen mit Q_E die in die betrachtete Druckzone jährlich eingespeiste Wassermenge. Diese Grösse lässt sich wie folgt darstellen:

$$Q_E = Q_{EP} + Q_{EQ}$$

Q_{EP} = Jährliche Einspeisung von gefordertem Wasser

Q_{EQ} = Jährliche Einspeisung von nicht gefordertem Wasser

Wir haben:

$$FE_{pv} = E_{pv} \cdot Q_{EP} / Q_E$$

$$FE_{nd} = E_{nd} \cdot Q_{EP} / Q_E$$

FE_{pq} , lässt sich ähnlich wie E_w berechnen (vgl. eingerahmter Rasten). Summiert wird aber nicht mehr über alle Wassereinspeisestellen sondern nur über diejenigen, die Wasser fördern

Wird das gesamte verbrauchte Wasser gefordert ist $E_{mir} = FE_{min}$.

Wird der Qualitätsindikator für das gesamte Gebiet einer Wasserversorgung bestimmt, dann werden die Werte von E und FE_{min} berechnet indem sie über alle Druckzonen aufsummiert werden.

3.5 Beispiele

Mit Hilfe der nachfolgenden einfachen Beispiele illustrieren wir die Aussagekraft der in 3.3 und 3.4 eingeführten Energieindikatoren.

Beispiel 1

Das Siedlungsgebiet befindet sich in 500 m Höhe ü.M. Das Rohwasser wird aus dem See entnommen (in einer Höhe von 300 m ü. M.). Nach seiner Aufbereitung wird es zu einem Reservoir in 560 m Höhe gepumpt (Fig. 3a). Im Siedlungsgebiet wohnen 1000 Einwohner, die 250 l pro Tag verbrauchen. Die jährlich von den zwei Pumpstationen gebrauchte Energie lässt sich aus folgenden Merkmalen berechnen:

	Pumpstation See	Pumpstation Aufbereitung
$h_d - h_s$	200m	60m
BV	1.05	1.07
Q_V	91'250 m ³	91'250 m ³
p_v	1.15	1.15
η	0.65	0.62

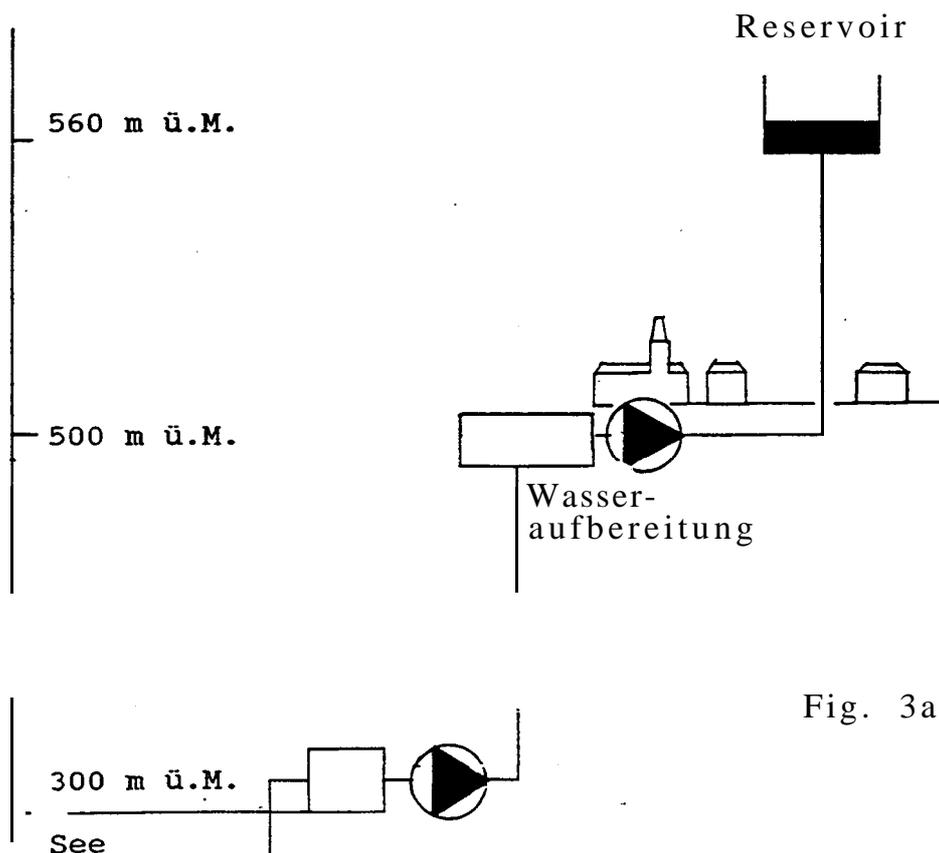


Fig. 3a

Nach der unter 2.2 abgeleiteten Formel lässt sich E wie folgt bestimmen:

$$E \cong 2.73 \cdot 10^{-3} \cdot 91'250 (1 + 0.15) [200 \cdot 1.05 / 0.65 + 60 \cdot 1.07 / 0.62] = 122'200 \text{ kWh}$$

Die Berechnung der Energieindikatoren ergibt:

$$E_{\min} = 2.73 \cdot 10^{-3} [91'250 \cdot 560 - 91'250 \cdot 300] = 64'750 \text{ kWh}$$

$$11 = 64'750 / 91'250 = 0.71 \text{ kWh / m}^{-3}$$

$$12 = 122'200 / 64750 = 1.89$$

Beispiel 2

Siedlungsgebiet und Reservoir befinden sich in gleicher Höhe wie im Beispiel 1. Das Rohwasser wird aber vom Grundwasser entnommen in einer Höhe von 470 m Ü.M. (vgl. Fig. 3b). Der Wasserverbrauch lautet wie im Beispiel 1. Die Wasserversorgung ist energetisch in einem etwas schlechteren Zustand als jene des Beispiels 1: Sowohl ihre Wasser- als auch ihre Förderverluste sind höher und die Wirkungsgrade der Pumpen niedriger. Die jährliche Förderarbeit lässt sich aus folgenden Merkmale berechnen:

	Grundwasserpumpe	Pumpe nach der Filtrierung
$h_d - h_s$	30m	60m
BV	1.1	1.1
Q_v	91'250 m ³	91'250 m ³
P_v	1.30	1.30
η	0.6	0.6

Nach der unter 2.2 abgeleiteten Formel lässt sich E wie folgt bestimmen:

$$E \cong 2.73 \cdot 10^{-3} \cdot 91'250 \cdot 1.3 [30 \cdot 1.1 / 0.6 + 60 \cdot 1.1 / 0.6] = 53'450 \text{ kWh}$$

Die Berechnung der Energieindikatoren ergibt:

$$E_{\min} = 2.73 \cdot 10^{-3} [91'250 \cdot 560 - 91'250 \cdot 470] = 22'400 \text{ kWh}$$

$$11 = 22'400 / 91'250 = 0.25 \text{ kWh / m}^{-3}$$

$$12 = 53'450 / 22'400 = 2.39$$

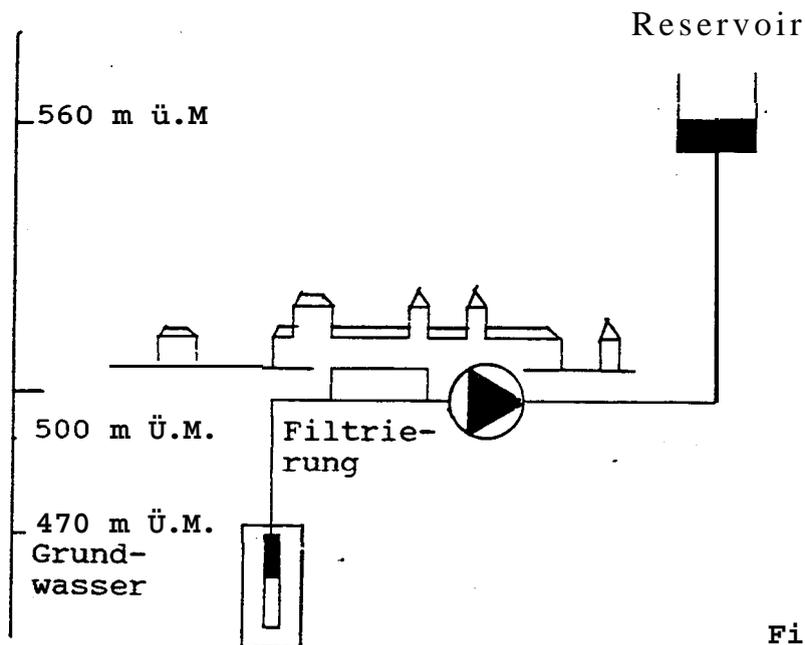


Fig. 3b

Beispiel 3

In dem in Fig. 3c illustrierten Siedlungsgebiet wohnen 2'000 Einwohner. Ihr Wasserverbrauch beträgt im Durchschnitt 400 l pro Tag. 1/4 des Rohwassers stammt aus einer Quelle, 3/4 werden vom Grundwasser entnommen. Die Quelle befindet sich unwesentlich höher als das Reservoir. Die Pumpen im Grundwasser und nach der Filtrierung haben beide einen Wirkungsgrad von 0.5. Der Korrekturfaktor für die Förderverluste beträgt für beide Aggregate 1.05. Die Wasserverluste erreichen 20 %. Wir haben

$$Q_v = 292'000 \text{ m}^3$$

$$E \cong 2.73 \cdot 10^{-3} \cdot 219'000 \cdot 1.2 \cdot 90 \cdot 1.05 / 0.7 = 135'560 \text{ kWh}$$

$$E_{\min} = 2.73 \cdot 10^{-3} [292'000 \cdot 460 - (219'000 \cdot 370 + 73'000 \cdot 460)] = 53'800 \text{ kWh}$$

$$FE_{\min} = 2.73 \cdot 10^{-3} [292'000 \cdot 460 \cdot 0.75 - 219'000 \cdot 370] = 53'800 \text{ kWh}$$

$$11 = 53'800 / 292'000 = 0.18 \text{ kWh/m}^3$$

$$12 = 96'900 / 53'800 = 2.52$$

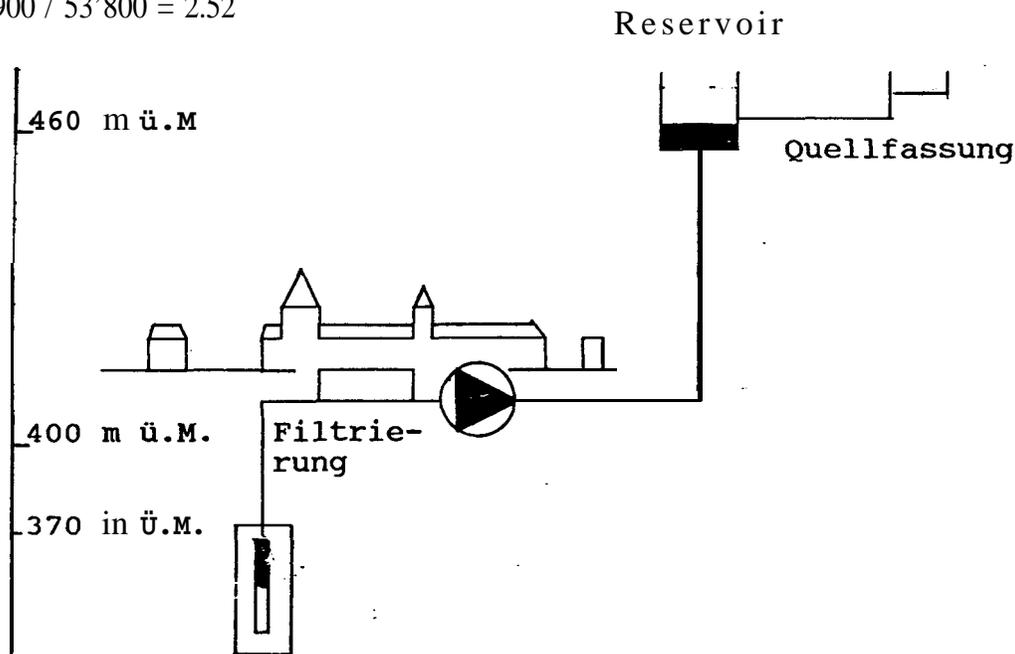


Fig. 3c

Beispiel 4

Das Beispiel 4 (vgl. Fig. 3d) ist ähnlich wie das vorhergehende Beispiel. Das Siedlungsgebiet **erstreckt** sich hier jedoch auf zwei Ebenen: Die Hälfte der Bevölkerung lebt in einer Höhe von 400 m Ü.M. und die andere Hälfte in einer von 440 m Ü.M. Das Reservoir und die Quellfassung befinden sich nicht mehr in einer Höhe von 460 m Ü.M., sondern in 490 m Ü.M.. Verbrauch, Wasserverluste, BV und Wirkungsgrade sind wie im Beispiel 3. Wir haben:

$$Q_v = 292'000 \text{ m}^3$$

$$E \cong 2.73 \cdot 10^{-3} \cdot 219'000 \cdot 1.2 \cdot 120 \cdot 1.05 / 0.5 = 180'740 \text{ kWh}$$

$$E_{\min} = 2.73 \cdot 10^{-3} [146'000 \cdot 460 + 146'000 \cdot 500 - (219'000 \cdot 370 + 73'000 \cdot 490)] = 63'800 \text{ kWh}$$

$$FE_{\min} = 2.73 \cdot 10^{-3} [(146'000 \cdot 460 + 146'000 \cdot 500) \cdot 0.75 - 219'000 \cdot 370] = 65'800 \text{ kWh}$$

$$11 = 63'800 / 292'000 = 0.22 \text{ kWh/m}^3$$

$$12 = 180'740 / 65'800 = 2.75$$

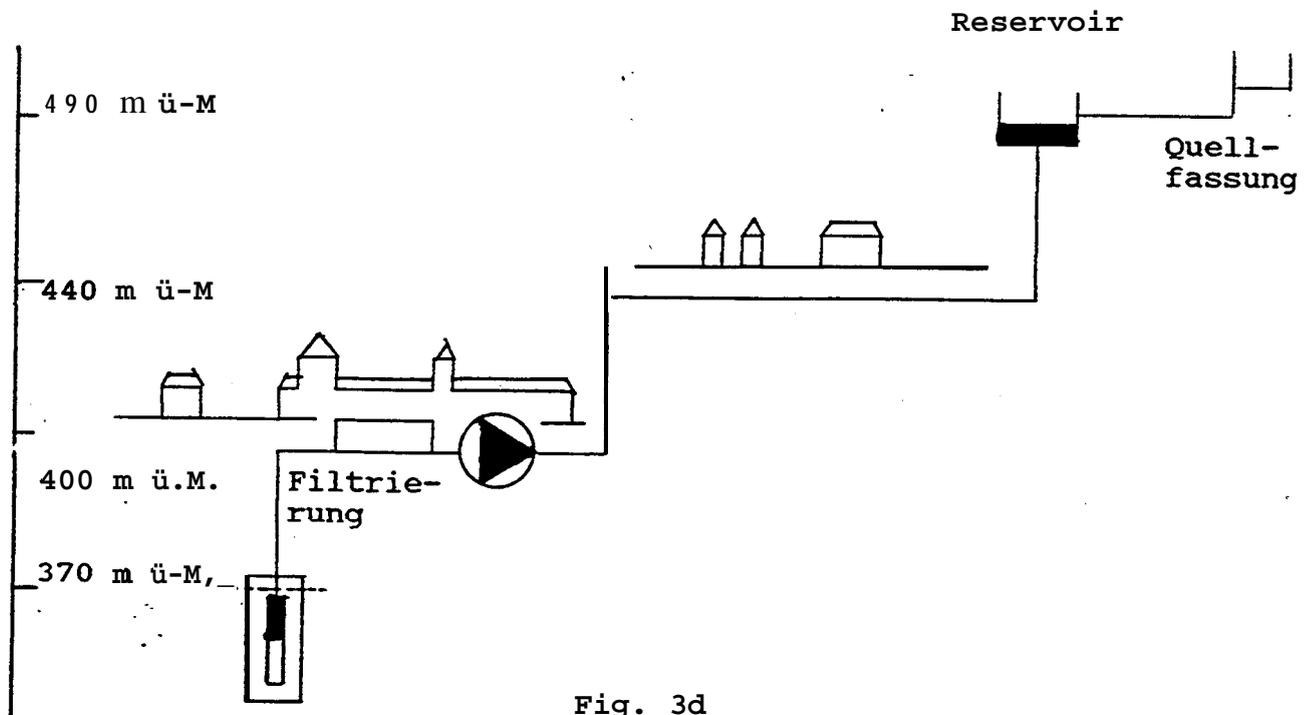


Fig. 3d

Beispiel 5

In der Wasserversorgung, die in Fig. 3e illustriert ist, wird keine Energie benötigt. Das Rohwasser stammt aus einer Quellfassung in Hochlage. Im abgebildeten Siedlungsgebiet werden pro Jahr 200'000 m³ benötigt. Aus der Quelle werden 240'000 m³ ins Reservoir eingespeist, d.h. die Verluste betragen 20%. Man hat:

$$Q_v = 200'000 \text{ m}^3$$

$$E = 0$$

$$E_{\min} = 2.73 \cdot 10^{-3} [200'000 \cdot 460 - 200'000 \cdot 600] = -76'400 \text{ kWh}$$

$$11 = -76'400 / 200'000 = -0.38 \text{ kWh/m}^3$$

Beispiel 6

Im Beispiel 6 (vgl. Fig. 3f) wird 1/4 des eingespeisten Wassers vom Grundwasser und 3/4 von einer hoch gelegenen Quelle gewonnen. Die restlichen Daten lauten:

$$Q_v = 300'000 \text{ m}^3$$

$$p_v = 40\%$$

$$\eta \text{ im Durchschnitt} = 0.5$$

$$BV = 1.1$$

Daraus folgt:

$$E = 2.73 \cdot 10^{-3} \cdot 90 \cdot 0.25 \cdot 300'000 \cdot 1.4 \cdot 1.1 / 0.5 = 57'000 \text{ kWh}$$

$$E_{\min} = 2.73 \cdot 10^{-3} [300'000 \cdot 460 - (300'000 \cdot 600 \cdot 0.75 + 300'000 \cdot 370 \cdot 0.25)] = -67'000 \text{ kWh}$$

$$FE_{\min} = 2.73 \cdot 10^{-3} [300'000 \cdot 460 \cdot 0.25 - 300'000 \cdot 370 \cdot 0.25] = 18'400 \text{ kWh}$$

$$11 = -0.22 \text{ kWh/m}^3$$

$$12 = 3.1$$

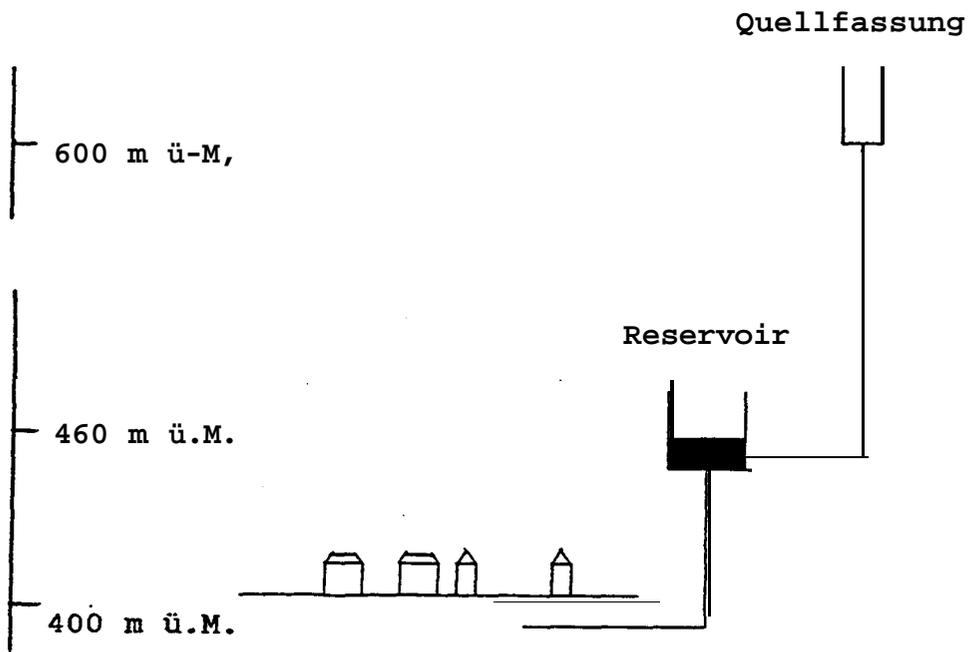


Fig. 3e

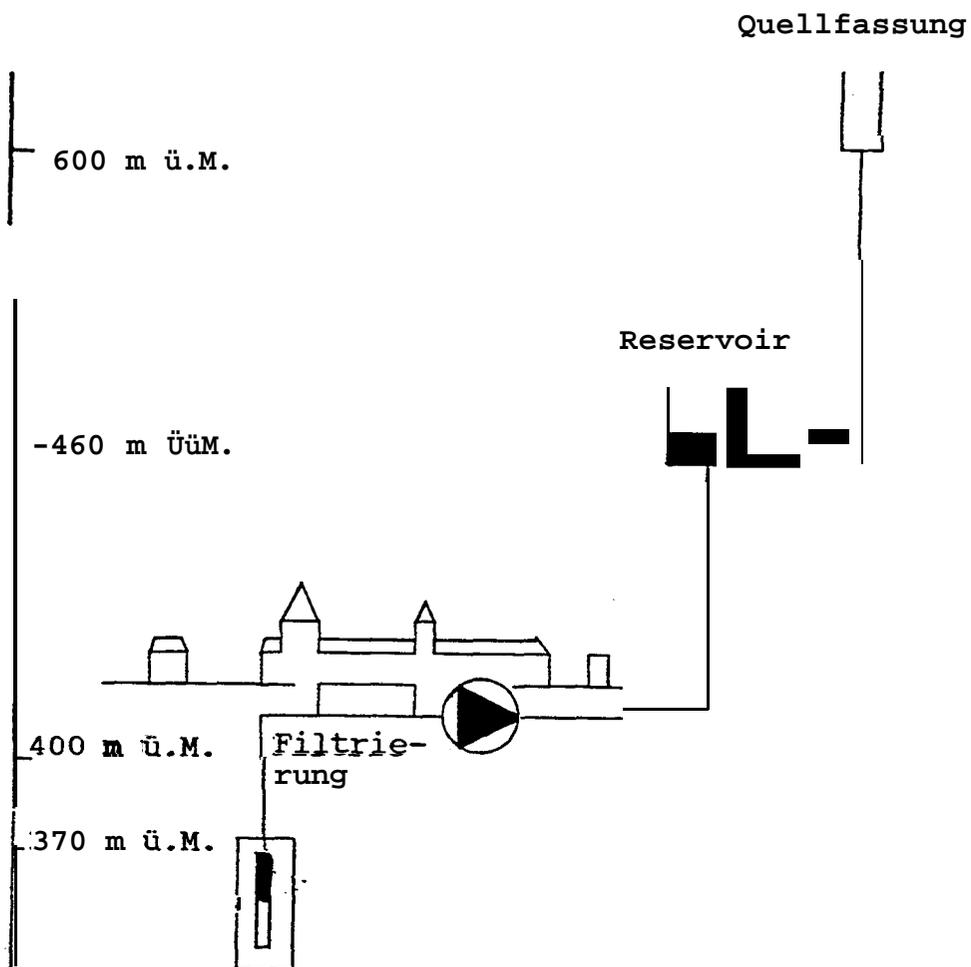


Fig. 3f

3.6 Eigenschaften der einzelnen Indikatoren

Der Indikator 11 zeigt wie sich die Struktur einer Wasserversorgung auf ihren Energieverbrauch auswirkt_

Im Beispiel 1 muss das Wasser viel tiefer gewonnen werden als im Beispiel 2. Der Wert von 11 im Beispiel 1 ist entsprechend höher als jener im Beispiel 2. Dies unabhängig von der Qualität der Anlagen, die im Beispiel 1 wesentlich höher ist als im Beispiel 2. Die energetische Qualität wird sehr gut vom Qualitätsindikator wiedergegeben, der im Beispiel 1 wesentlich niedriger ist als im Beispiel 2.

Weist eine Druckzone einer Wasserversorgung grosse Höhenunterschiede auf, so wird im allgemeinen für ihre Versorgung mehr Energie benötigt als für eine Druckzone in einem flachen Gebiet auf durchschnittlich gleicher Höhe. Dies reflektiert sich sowohl im Strukturindikator als auch im Qualitätsindikator, weil in Hanglage oft grössere Höhenunterschiede in den Druckzonen zugelassen werden (Beispiel 3 und 4).

Wird keine Energie verwendet und Wasser in Hochlage gewonnen, dann wird 11 negativ und weist auf potentielle Energieerückgewinnungsmöglichkeiten hin (Beispiel 5). Ähnliches kann in einer Wasserversorgung mit Grundwasser und Quellwasser vorkommen, wenn die maximale zurückgewinnbare Energie grösser ist als die minimale Energie, die für die Förderarbeit benötigt wird.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Strukturindikator 11 wiedergibt, wie sich die Struktur einer Wasserversorgung (im wesentlichen durch die Höhenunterschiede zwischen Wassergewinnungsstellen und Siedlungsgebiet bestimmt) auf den Energieverbrauch auswirkt. Je höher der Wert von 11 desto ungünstiger die Struktur. Der Qualitätsindikator dagegen misst die energetische Qualität der einzelnen Anlagenteile (Pumpwerke, Leitungsnetz, Anordnung der Reservoirs, Transportleitungen). Auch hier gilt: je höher der Indikator desto schlechter die Qualität.

4. FÖRDERAGGREGATE

4.1 Allgemeines

Mit Ausnahme von Wasserversorgungen, die über genügend hoch gelegenes Quellwasser verfügen, wird das Wasser in der Regel durch Förderaggregate zu den Reservoirs oder direkt in das Leitungsnetz gepumpt. Als Förderaggregate werden üblicherweise Kreiselpumpen eingesetzt, die von einem Elektromotor angetrieben werden. In einer Kreiselpumpe wird das Wasser durch Ausnutzung der Zentrifugalkraft beschleunigt und unter Druck gesetzt. Fig. 4 illustriert die Funktionsweise einer Kreiselpumpe.

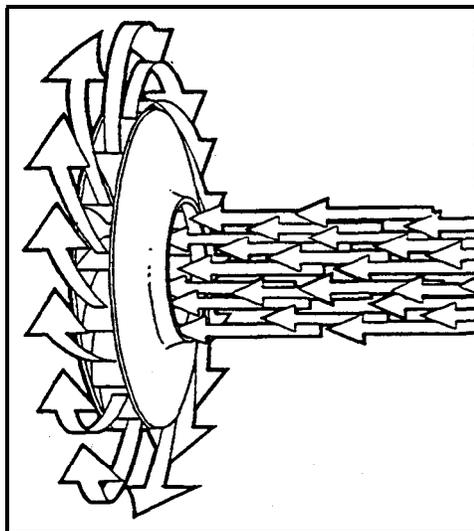


Fig. 4 Funktionsweise einer Kreiselpumpe (aus 11)

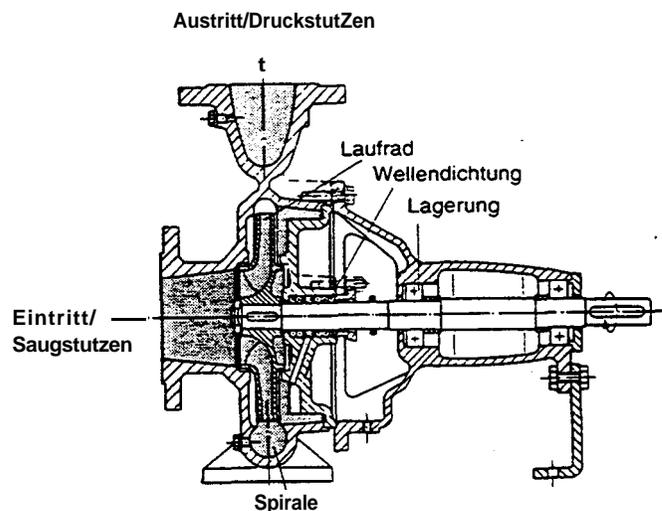


Fig. 5 Schnitt einer Kreiselpumpe (aus 12)

Die Hauptteile eines Förderaggregates sind:

- das Laufrad
- **das Gehäuse**
- **die Antriebswelle**
- der Elektromotor

Das Wasser wird durch eine Saugleitung von der Entnahmestelle zur Pumpe geführt, wo es zum Rotor gelangt und beschleunigt wird. Durch eine trichterförmige Öffnung des Gehäuses erreicht das Wasser schliesslich die Druckleitung.

4.2 Die Wahl des Förderaggregates

Bei einer Kreiselpumpe variiert die Förderhöhe in Abhängigkeit von der Fördermenge. Um eine Pumpe optimal einsetzen zu können, muss man über ihre Rennlinien verfügen, welche die Abhängigkeit der Förderhöhe, des Wirkungsgrads, des Saugverhaltens und der Leistung vom

Förderstrom wiedergeben. Als Beispiel dafür sind in Fig. 6 die Kennlinien einer Kreiselpumpe abgebildet.

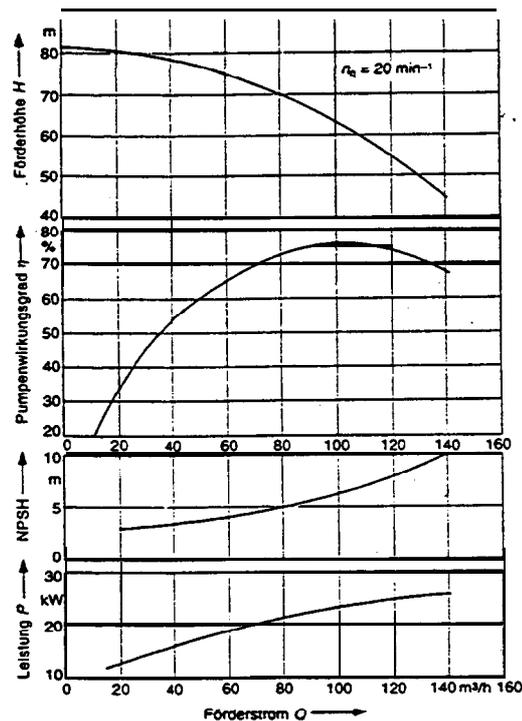


Fig. 6 Kennlinienform einer Kreiselpumpe (aus Ref. 12)

Die Kennlinien variieren u.a. in Funktion folgender Faktoren:

- Durchmesser des Laufrades
- andere Merkmale des Laufrades
- Drehzahl

Wie Fig. 6 zeigt, variiert der Wirkungsgrad relativ stark mit der Fördermenge. Um den Energieverbrauch so klein wie möglich zu halten, ist die Pumpe so zu wählen, dass sie bei der erforderlichen Fördermenge die gewünschte Förderhöhe sowie einen möglichst hohen Wirkungsgrad aufweist.

Die Erzeugung eines hohen Druckes bei gutem Wirkungsgrad erfordert, besonders bei kleineren Fördermengen, den Einsatz mehrstufiger Pumpen, in welchen das Wasser in mehreren Stufen durch die Rotationsbewegung des Laufrades beschleunigt wird.

Um die Wahl einer geeigneten Pumpe zu erleichtern, bieten Pumpenhersteller ihren Kunden Arbeitsblätter mit Kennfeldern an, in welchen die optimalen Bereiche (in Funktion von Fördermenge und Förderhöhe) für den Einsatz eines bestimmten Pumpentypes eingetragen sind (vgl. Fig. 7). Solche Kennfelder hegen für die üblichen Drehzahlen vor.

Die in Fig. 7 angegebenen Pumpenbezeichnungen haben folgende Bedeutung (zum Beispiel Pumpe 2/32-200):

- 2 : Anzahlstufen
- 32 : Druckstutzen-Nennwert.
- 200 : Laufrad-Nenndurchmesser

n=2900 1/min

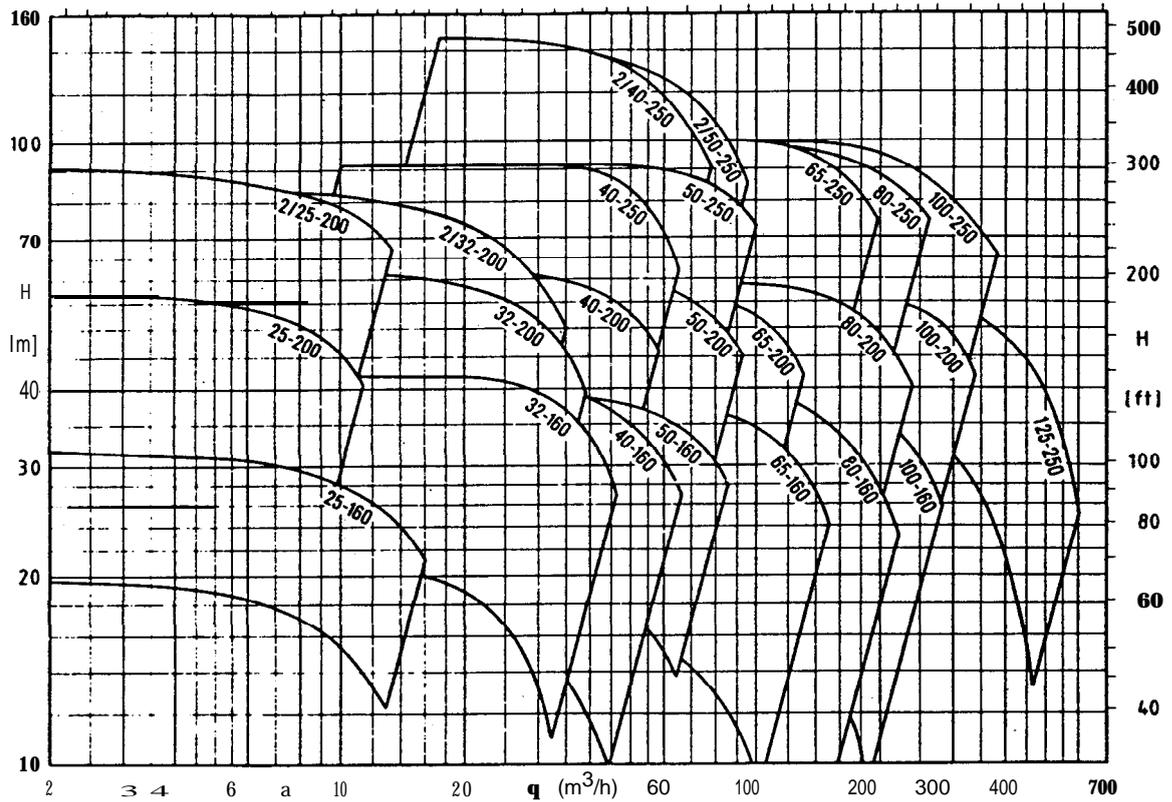


Fig. 7 Kennfelder der Spiralgehäuse-Kreiselpumpen PN 10 Baureihe AZ (Sulzer Pumpen AG)

4.3 Wirkungsgrade

Der Pumpenwirkungsgrad ist als Quotient aus Förderleistung und Leistungsbedarf definiert.

In Fig. 8 sind Richtwerte von üblichen Pumpenwirkungsgraden angegeben. Anhand dieses Bildes lässt sich feststellen, dass bei gleicher Förderhöhe der Wirkungsgrad mit der Fördermenge zunimmt

Unter 20 m³/h (5.5 l/s) lassen sich für hohe Drucke (100 m Förderhöhe) noch gute Wirkungsgrade (50-60 %) mit mehrstufigen Pumpen erreichen.

Der Wirkungsgrad eines Förderaggregates ist das Produkt aus Wirkungsgrad der Pumpe und Wirkungsgrad der Antriebsmaschine. In Fig 9 wird der Wirkungsgrad eines Nommotors mit jenem eines High-Efficiency-Motors verglichen (in Funktion der Last).

Mit High-Efficiency-Motoren lassen sich gegenüber Normmotoren ca. 5% Elektrizität sparen. Da Pumpen in den Wasserversorgungen im allgemeinen viel im Einsatz stehen, lohnt es sich zu prüfen, ob die Verwendung von High-Efficiency-Motoren finanziell interessant ist. Mehr Details zu dieser Problematik findet der Leser in Ref. 8.

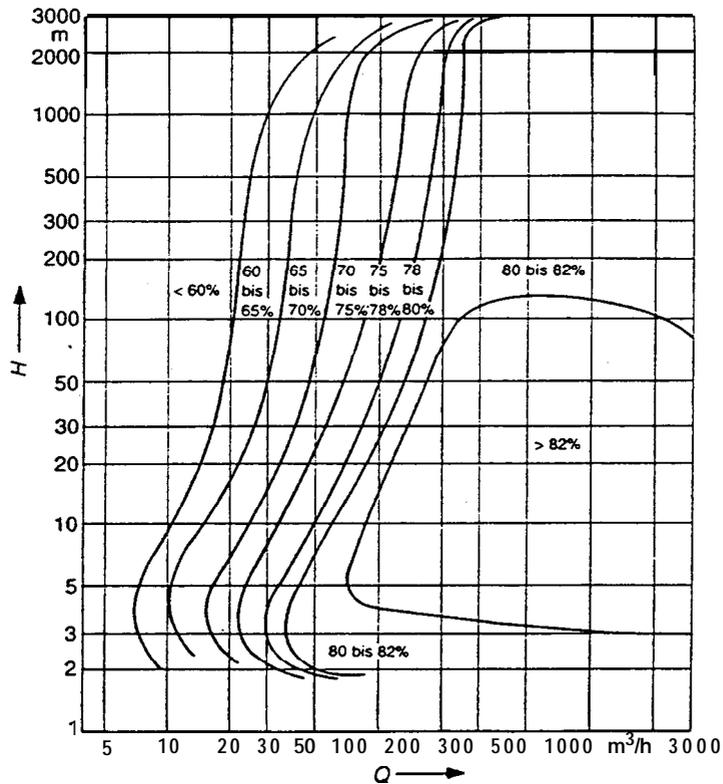


Fig. 8 Richtwerte von üblichen Pumpenwirkungsgraden (aus Ref. 12)

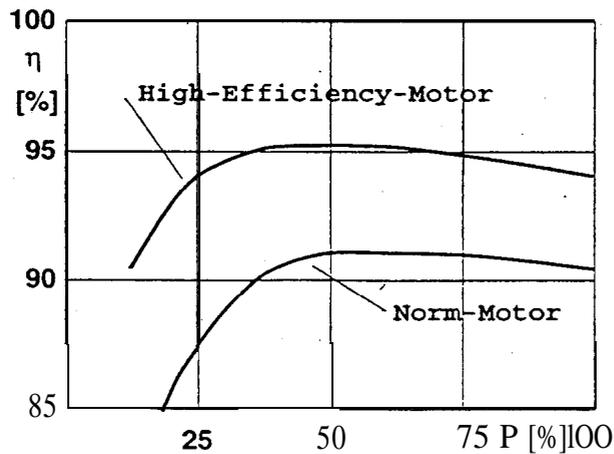


Fig. 9: Lastabhängigkeit des Wirkungsgrades von Asynchronmaschinen. Nennleistung: 37kW (aus Ref. 8).

4.4 Der Einsatz von Förderaggregaten in Wasserversorgungsnetzen

Einsatzarten

Förderaggregate werden in der Wasserversorgung in der Regel eingesetzt wie in den Fig 10a, 10b und 10c dargestellt.

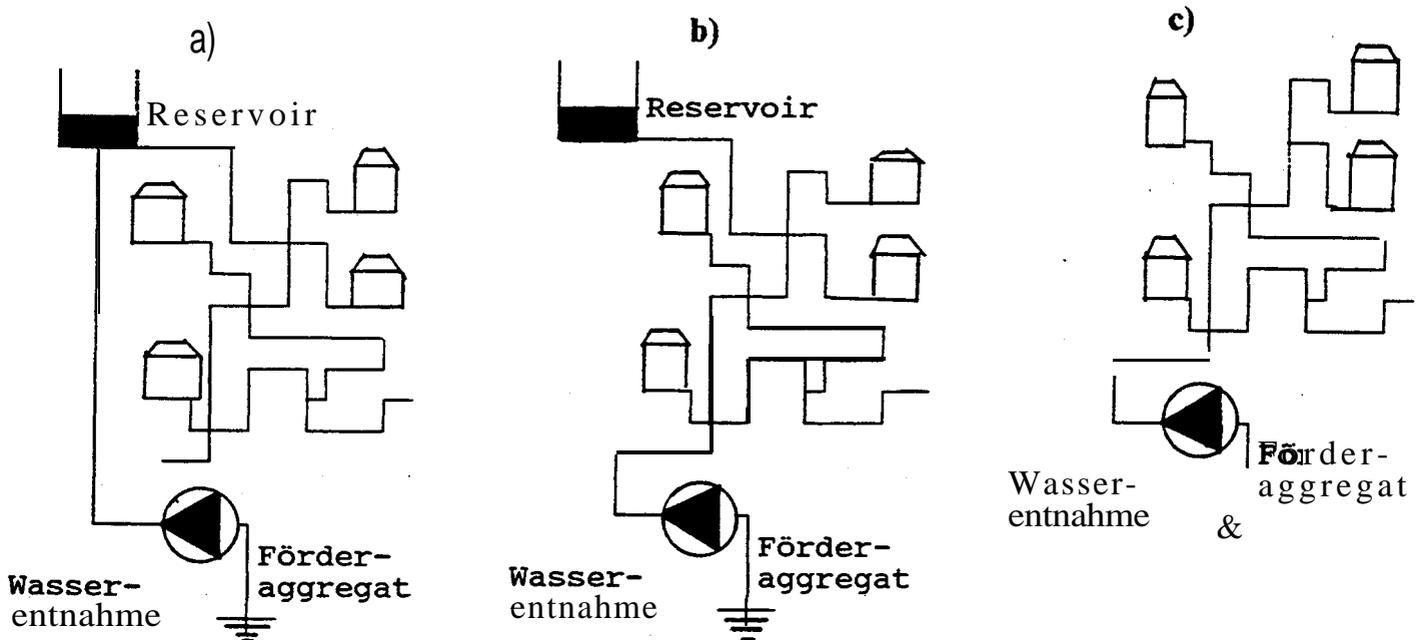


Fig. 10 Einsatzarten von Förderaggregaten in der Wasserversorgung

Im ersten Fall (Fig. a) wird Wasser von einer Entnahmestelle (Grundwasser, Wasseraufbereitung, Reservoir) zu einer Abgabestelle (Wasseraufbereitung, Reservoir) gepumpt. Sowohl die Höhe der Wasserentnahme als auch jene der Wasserabgabe variieren normalerweise wenig und die geförderte Wassermenge pro Zeiteinheit bleibt nahezu konstant, Das Ein- bzw. Abschalten des Förderaggregates erfolgt nach Bedarf, meistens durch Unter- oder Überschreiten eines bestimmten Füllniveau (oder Füllniveaulinien) bei der Abgabestelle. Um das Förderaggregat wählen zu können, müssen zuerst Fördermenge, Sauganforderungen und Förderhöhe (unter Berücksichtigung der durch die Zuleitungen verursachten dynamischen Druckverluste) bestimmt werden. Im zweiten Schritt erfolgt die Wahl des Förderaggregates mit Hilfe der von den Herstellern zur Verfügung gestellten Kennfeldern. Gewählt wird meistens die wirtschaftlich beste Pumpe. Die Wirtschaftlichkeit wird anhand von Preis, Wirkungsgrad, geschätzten Wartungskosten und Lebensdauer bestimmt.

Im zweiten Fall (Fig. 10b) wird das Wasser direkt ins Leitungsnetz der Wasserversorgung gefördert, die über ein oder mehrere Reservoirs verfügt

Der Verbrauch eines Wasserversorgungsnetzes variiert üblicherweise stark (Tag, Nacht, Sommer, Winter).

Die Pumpe kann so gewählt werden, dass ihr energetisch optimaler Förderstrom (Nennförderstrom) höher liegt als der Verbrauch der Spitzenstunde. Das Förderaggregat arbeitet dann ähnlich wie im ersten Fall. Diese Einsatzart hat den Vorteil, dass die Pumpenwahl leicht vorzunehmen ist und die gewählte Pumpe immer bei höchstem Wirkungsgrad arbeitet. Der energiemässige Nachteil dieser Einsatzweise hegt im Pumpendruck, der immer genug hoch sein muss, um Wasser ins Reservoir zu speisen.

Eine energetisch bessere Lösung wird erreicht, wenn der Nennförderstrom der Pumpe tiefer als der Spitzenstunden-Verbrauch des Netzes gewählt wird. In diesem Falle übersteigt der Förderstrom der Pumpe bei hohem Wasserverbrauch im Netz deren Nennförderstrom und der Arbeitsdruck nimmt ab (vgl. Fig. 6). Sowohl vom Förderaggregat als auch vom Reservoir wird Wasser ins Netz eingespeist. Um die energetische Ausbeute weiter zu erhöhen, d.h. mit niedrigem Arbeitsdruck und gutem Wirkungsgrad so viel Wasser wie möglich direkt vom Förderaggregat ins Netz einzuspeisen, kann eine drehzahleregelte Pumpe eingesetzt werden. Die Pumpe wird so gesteuert, dass sie ab einem bestimmten Wasserstand im Reservoir nur Wasser ins Netz einspeist (nicht ins Reservoir). Wird bei hohen Netzverbräuchen die untere Grenze des Wasserpegels erreicht, erhöht sich automatisch die Drehzahl der Pumpe und das Reservoir wird bis zu einer vorgegebenen Höhe gefüllt.

Im dritten Fall (vgl. Fig. 10c) erfolgt die Einspeisung direkt ins Netz (ohne Reservoir). Diese Einsatzart erfordert die Sicherstellung der Elektrizitätsversorgung sowie die Steuerung der Fördermenge zwischen Minimum (Höhe der Verluste) und Maximum (Spitzenstunde unter Berücksichtigung der Brandbekämpfung). Bei einer solchen Steuerung lässt sich lediglich ein guter Wirkungsgrad erzielen, wenn mehrere Pumpen (wenn möglich drehzahlgesteuert) parallel eingesetzt werden können. Die direkte Einspeisung ins Netz ohne Reservoir ist in der Schweiz bei kleinen und mittleren Gemeinden nicht üblich. In grösseren Städten, besonders im Flachland wird sie dagegen mit Vorteil praktiziert (zBsp. in Genf).

Energetische Betrachtungen

Die Variante Direkteinspeisung mit Reservoir (Fig. 10b) ohne drehzahleregelte Pumpe erlaubt eine gewisse Energieeinsparung, welche jedoch kleiner ist als die dynamischen Verluste bei der direkten Reservoireinspeisung (Fig. 10a). Energie wird eingespart, indem ein Teil des Wassers nicht bis zum Reservoir gefördert werden muss. Diese Einsatzart bedingt aber, dass die Fördermenge der Pumpe relativ stark variiert, was wiederum eine Verschlechterung ihres durchschnittlichen Wirkungsgrades bewirkt. Mit der Drehzahlregelung ist die Ausbeute etwas besser, obwohl der Frequenzrichter auch Energieverluste aufweist (in der Höhe von 1 bis 2%). Die direkte Einspeisung ins Netz hat also einen Spareffekt von einigen Prozenten, je nach Netzgegebenheiten (u.a. Förderdruck).

Vom Standpunkt des Energie-Management haben Reservoirs den grossen Vorteil, dass sie nachts gefüllt werden können. In vielen Gegenden der Schweiz ist der Elektrizitätsverbrauch nachts im Sommer sehr gering. Aus diesem Grund sind die Elektrizitätstarife in vielen Gegenden, besonders im Sommer, nachts wesentlich günstiger als tagsüber. Für eine Wasserversorgung, deren Reservoirs genügend Speicherkapazität aufweisen, ist es in der Regel finanziell interessant, die Reservoirs vorwiegend nachts zu füllen. Es entsteht ein Widerspruch zwischen finanziell bester und energetisch sinnvollster Lösung (Einspeisung direkt ins Netz während Zeiten mit hohem Verbrauch).

Wirtschaftliche Vor- und Nachteile

Bei direkter Netzeinspeisung mit Reservoirs (Fig. 10b) kann im Vergleich zur Einspeisung via Reservoir (Fig. 10a) der Bau einer Zuleitung zum Reservoir, oder mindestens eines Stückes davon, gespart werden. Welche Lösung am besten ist, hängt aber stark von den lokalen Netz-

gegebenheiten ab, die ua. durch die Lage von Wasserentnahme, Reservoirs und Siedlungsgebiet bestimmt werden.

Mit der direkten Netzeinspeisung ohne Reservoirs (Fig. 10c) wird der Bau von Reservoirs und deren Zuleitungen eingespart, was ein bedeutender wirtschaftlicher Vorteil darstellt (besonders im Flachland). Andererseits erfordert eine solche Lösung u.a. höhere Kosten für:

- die Sicherung der Elektrizitätsversorgung.
- die Bereitstellung grösserer Förderkapazitäten mit mehreren parallel arbeitenden, drehzahl-geregelten Förderaggregaten, die wegen der Frequenzumrichter teurer sind als normale Förderaggregate.
- die Bereitstellung von Speicherkapazität für das aufbereitete Wasser.

Mit der direkten Einspeisung ohne Reservoirs kann zudem der Elektrizitätsverbrauch nicht mehr in die Nacht verschoben werden. Für den grössten Teil der Elektrizität muss somit der Hochtarif bezahlt werden.

4.5 Drehzahlregulierung

Wie im Abschnitt 4.2 gezeigt, hängt bei einer Kreiselpumpe die Fördermenge relativ stark von der Förderhöhe ab. Weicht die Förderhöhe wesentlich von der Nennförderhöhe ab, dann nimmt der Wirkungsgrad rapid ab. Diese zwei Merkmale der Kreiselpumpe bewirken, dass in gewissen Anwendungen der Einsatz von drehzahlgeregelten Pumpen energetisch vorteilhaft ist. Dies ist der Fall, wenn:

- die Fördermenge, bei gleich bleibender Förderhöhe, verändert werden muss
- die Förderhöhe sich bei gleich bleibender Fördermenge verändert

Betrachten wir als Beispiel folgenden Fall: Rohwasser wird vom Grundwasser zu einer Wasseraufbereitungsstation gefördert. Der Grundwasserspiegel schwankt stark in Funktion der Fördermenge. Die Förderhöhe variiert entsprechend. Mit einer Drehzahlsteuerung lässt sich bei variierendem Förderdruck die Fördermenge konstant halten und ein guter durchschnittlicher Wirkungsgrad erreichen.

Als zweites Beispiel nehmen wir eine Wasserversorgung mit einer Druckzone in Hanglage, die einen grossen Höhenunterschied aufweist, der sich energetisch ungünstig auswirkt. Die Druckzone wird von einem Wasserreservoir gespeist, welches mit Wasser aus einer Aufbereitungsstation versorgt wird. Um Energie zu sparen, wird die Druckzone geteilt: Die untere Hälfte wird neu direkt von der Aufbereitungsstation mit drehzahlregulierbaren Förderaggregaten versorgt, die Obere wird wie vorher vom Reservoir gespeist. Ventile verbinden den unteren mit dem oberen Teil, sodass der untere Teil der Druckzone im Falle eines Elektrizitätsunterbruchs oder eines Brandes auch mit Wasser vom Reservoir versorgt werden kann. Mit einer solchen Lösung können beträchtliche Mengen Elektrizität eingespart werden. Ihre Realisierung hängt aber wie immer von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ab.

Die bereits besprochene Optimierung des Energieverbrauches durch den Einsatz von drehzahlgeregelten Pumpen im Falle direkter Netzeinspeisung mit Reservoirs (Fig. 10b) ist schwieriger zu realisieren. Die Untersuchung ihrer Wirtschaftlichkeit erfordert eine gute Kenntnis der Netz- und Verbrauchsdaten zur Durchführung einer Computersimulation.

Die besten Anwendungsmöglichkeiten von drehzahlgeregelten Förderaggregaten bieten sich bei Wasserversorgungen im Flachland, wo der Bau von kostspieligen Reservoirs (Wassertürme) vermieden werden kann. Es ist aber möglich, dass in solchen Fällen wegen des Pumpenwirkungsgrades mehr Förderenergie benötigt wird.

5. WASSERVERLUSTE

5.1 Allgemeines

5.1.1 Definition

Wasserverluste bedeuten nicht nur eine Verschwendung von Wasser, sondern haben auch einen höheren Energieverbrauch zur Folge. Schliesslich muss die aus Leckstellen entweichende Wassermenge in der Regel gefördert werden. Bei der Bekämpfung der Verluste müssen diese zuerst bestimmt, in einem zweiten Schritt näher eingegrenzt, dann geortet und schliesslich behoben werden.

Die Wasserverluste ergeben sich aus der Differenz der in das Netz eingespeisten Wassermenge und des gemessenen Wasserverbrauches (Verkaufe). Man unterscheidet dabei zwischen scheinbaren und echten Verlusten (Fig. 11).

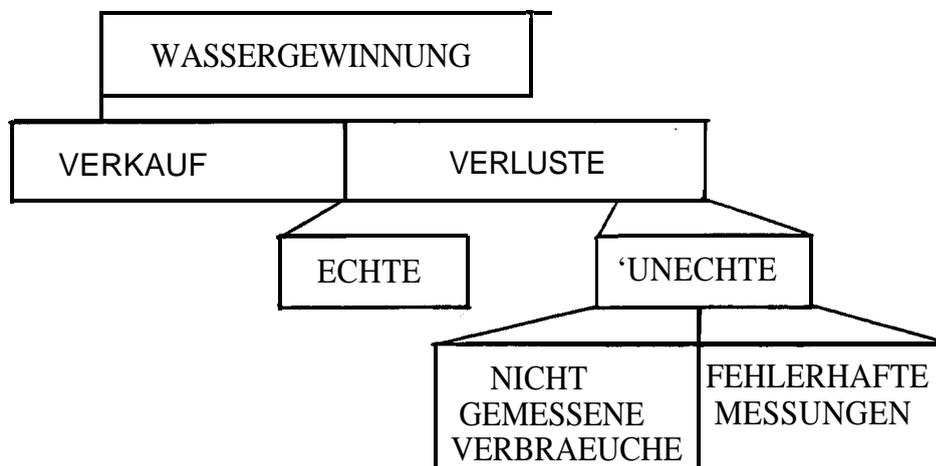


Fig. 11 Definition der Wasserverluste

Scheinbare Verluste entstehen durch Minderanzeigen bei Messeinrichtungen sowie durch nicht gemessene Wasserentnahmen aus dem Netz wie zum Beispiel: für Brunnen, Entnahmen durch die Feuerwehr, Eigenverbrauch der Wasserversorgung für Filter-, Aufbereitungsanlagen- und Rohmetzspiltmgen, Reservoirreinigungen, etc.. Für die Minderanzeigen der Messeinrichtungen ist oft eine falsche Auslegung (Überdimensionierung) verantwortlich, sodass im Anlaufbereich bei geringer Entnahme sogenannte Schleichverluste entstehen.

Unter echten Verlusten verstehen wir Wassermengen, welche durch Mangel und Leckstellen in Wasserverteihmgsanlagen verlorengehen. Sie entstehen u.a. durch undichte Rohrverbindungen und Armaturen, durch infolge von Spannungen verursachte Rohrbrüche oder durch Locher in der Rohrwand, die aus Innen- oder Aussenkorrosionsvorgängen entstanden sind.

5.1.2 Bezugsgrösse

Die Verluste werden normalerweise in Prozent der total eingespeisten Menge angegeben. In einer Arbeit über Energiesparen scheint uns aber logischer, die Wasserverluste auf die tatsächlich verkaufte Wassermenge prozentual zu beziehen. Solche prozentuale Verlustzahlen können allerdings nicht zur Beurteilung eines Versorgungsnetzes verwendet werden (direkter Vergleich mit anderen Wasserversorgungen), da mit der Netzlänge die wichtigste Kenngrösse bei der Berechnung unberücksichtigt bleibt. Eine bessere Aussagekraft hat der spezifische Wasserverlust V_{sp} , auch Verlustkennwert genannt, welcher folgendermassen definiert wird:

$$V_{sp} = Q_{vr} / (87f \cdot L_r) \quad (\text{in } m^3 / (h \cdot km))$$

wobei: Q_{vr} = Verlustmenge (m^3/Jahr) und L_r = Rohrnetzlänge (km).

Untersuchungen in deutschen Wasserversorgungen haben die in Fig. 12 illustrierten Bandbreiten von spezifischen Verlusten in Funktion der Bodenbeschaffenheit ergeben. In der untersten Bandbreite werden die Verluste als niedrig bezeichnet. Verluste in der obersten Bandbreite erfordern bereits Massnahmen zu deren Reduktion.

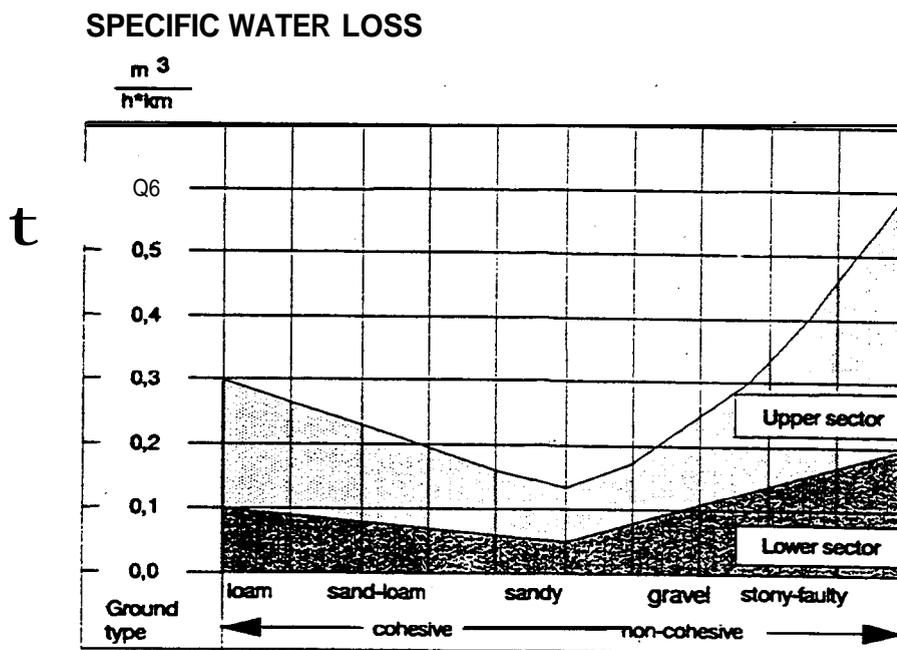


Fig. 12 Bandbreiten der Wasserverluste in deutschen Städten in Funktion der Bodenbeschaffenheit (aus 17).

Unter anderem wegen der schwierigen topographischen Lage sind in der Schweiz Wasserversorgungen mit Wasserverlusten (inklusive nicht erfasster Verbräuche) zwischen 10% und 15% 'als sehr gut zu bezeichnen. Erfahrungsgemäss liegen die Verluste oft im Bereich von 20 - 30 % oder darüber

Nach Ref. 14, Seite 35, erreichen die Schleichverluste 0.1 bis 0.2 m³/km.h oder ca. 3% der Gesamtabgabe. Der nicht erfasste Verbrauch ist schwieriger zu erfassen. Er hängt sehr stark von lokalen Gegebenheiten ab, wie vom Bedarf für Brunnen oder andere kommunale Aufgaben. In der Regel liegen die unechten Verluste zwischen 2 und 5%.

5.2 Ursachen von Leckstellen

5.2.1. Rohrbrüche

Als Ursachen für Wasserverluste sind in erster Linie Rohrbrüche, Korrosion von Leitungen sowie undichte Verbindungen und Armaturen verantwortlich, welche wir im Folgenden kurz erläutern möchten.

Jahreszeitlich bedingte Schwankungen der Bodenfeuchte können Bodenbewegungen verursachen. Bei einer Entwässerung des Bodens durch Trockenheit oder Frost (Nachziehen von Feuchtigkeit aus dem Unterboden) kann sich dieser je nach Bodentyp mehr oder weniger stark zusammenziehen. Dadurch ergeben sich Biegespannungen, die auf die Leitungen einwirken. Besonders bei Rohren aus nicht elastischem Material (Grauguss, harte Kunststoffe) kann dies zum Bruch führen.

Rutschbewegungen in Hanglage, die u.a. auch von Baukörpern verursacht werden können, erzeugen Spannungen, die Rohrbrüche und undichte Armaturen als Folge haben.

Die Verbindungsleitungen eines Wasserversorgungsnetzes werden fast immer im Strassentrassee verlegt. Sie sind daher Absetzbewegungen und Erschütterungen ausgesetzt, die vom Verkehr verursacht werden. Dies führt bei weniger elastischen Rohren und unsachgemäßer Verlegung (z.Bsp. im Bauschuttmaterial) zu Rohrbrüchen und Wasserverlusten.

Rohrbrüche sind eine wichtige Ursache für die Wasserverluste einer Wasserversorgung. Fig. 13 zeigt, dass diese häufiger auftreten als andere Schadensursachen.

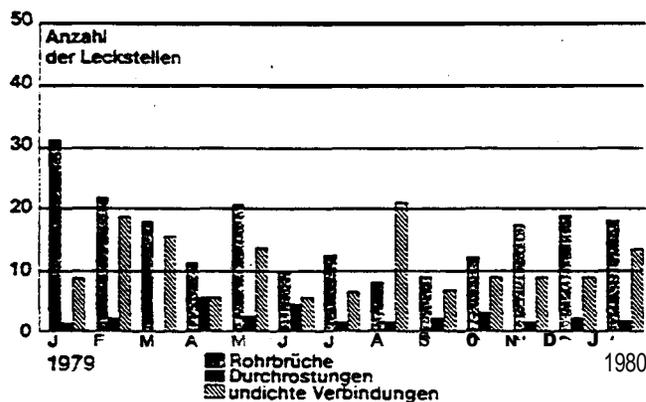


Fig. 13 Jahresverteilung der entdeckten Schadstellen in Stuttgart (aus 16)

Zwei Massnahmen scheinen uns zur Vermeidung -von Rohrbrüchen besonders wichtig:

- der Einsatz von Rohren aus elastischem Material,
- die Verlegung der Rohre in einem adäquaten Bett aus Sand oder Kies, das die Entstehung von Spannungspitzen an der Rohrwand erschwert.

5.2.2 Innenkorrosion

Die Zusammensetzung des ins Netz eingespeisten Wassers führt zu Ablagerungen von Material an den Rohrwänden oder zu Abtragungen von Wandbestandteilen. Beide Vorgängen sind unerwünscht. Von Vorteil ist eventuell die Bildung einer dünnen Schicht von Kalk- und Eisenverbindungen, die eine Schutzfunktion übernehmen kann. Durch eine adäquate Wasserbehandlung können sowohl Innenkorrosionsvorgänge als auch die Bildung von Ablagerungen verhindert werden (vgl. 18)

In der Schweiz kommt es relativ häufig vor, dass der Anteil an gelöstem aber nicht gebundenem Ca^{2+} zu hoch ist und das Wasser aggressiv wirkt. Um diesen Anteil zu reduzieren, wird das Wasser durch eine Schicht von halbgebranntem Dolomitmaterial geführt. Eine Innenauskleidung mit Zementmörtel oder Innenbeschichtung mit Kunststoff stellt einen wirksamen Schutz dar.

5.2.3 Aussenkorrosion

Durch die Unterschiede in der Zusammensetzung des Rohrbettmaterials entstehen mehr oder weniger starke elektrochemische Potentiale, die zu einem Ionentransport und zu Abtragungen an der Aussenrohrwand führen können. Dieser Ionentransport wird durch das Vordringen von aggressiven Flüssigkeiten (salziges Wasser zum Beispiel) bis zur Rohraussextwand begünstigt. Streuströme, die in den Schweizer Städten besonders von Gleichstromnetzen mit starken Stromintensitäten verursacht werden (Strassenbahn), werden durch Rohrstränge geleitet. Sie erzeugen hohe Potentialunterschiede zwischen Rohr und Rohrbett, die an bestimmten Rohrstellen zu Strömen und daher zu Wandabtragungen führen.

Früher wurden Wasserleitungen als Erdung benutzt, mit der Gefahr der Bildung von Potentialunterschieden, Strömen und Korrosionsvorgängen.

Eingehendere Informationen über Aussenkorrosionsvorgänge findet der Leser u.a. in den Referenzen 19 und 20.

Wasserleitungen können durch folgende Massnahmen gegen Aussenkorrosion geschützt werden (vgl. Referenz 21):

- Auftragung einer bituminösen Schutzschicht
- Wicklung des Rohres mit imprägnierten Binden oder Kunststoffschichten
- Schutz mit Kunststofffolien
- Bildung eines homogenen und wenig leitenden Rohrbettes aus Sand oder Betonkies
- Bau einer gerichteten Stromdrainage mit einer niederohmigen Verbindung
- Bau eines Kathodenschutzes

5.2.4 Undichtheiten

Die Verbindungselemente der einzelnen Rohre waren schon immer ein Schwachpunkt der Wassernetze. Sind die Verbindungen nicht absolut dicht, so wird durch das ausfliessende Wasser Rohrmaterial erodiert und damit das Leck vergrössert.

Verluste können auch infolge undichter Armaturen auftreten. Besonders anfällig sind wenig gebrauchte Einrichtungen (z.Bsp. Hydranten), die nach längerem Stillstand genutzt, oft undicht werden.

5.3 Einflussfaktoren

Alle Faktoren, die im vorangehenden Abschnitt erläutert wurden und zur Bildung von Leckstellen führen, tragen zur Erhöhung der Wasserverluste bei. Daneben möchten wir noch folgende Faktoren erwähnen:

Bodentyp: Zu unterstreichen ist die Bedeutung von Art, Struktur und chemischer Zusammensetzung des Bodens. In Deutschland wurden deren Auswirkungen auf die Höhe der Wasserverluste untersucht (vgl. Fig. 12).

Betriebsdruck: Die Beanspruchung aller Installationen eines Wasserverteilnetzes steigt mit zunehmendem Druck. Wird in einer Wasserversorgung mit unnötig hohem Druck gearbeitet, so steigen die Verluste: durch das vermehrte Auftreten von Leckstellen, durch ihre raschere Vergrößerung und durch die grössere Austrittsgeschwindigkeit.

Die in Fig. 14 wiedergegebenen Ergebnisse einer englischen Untersuchung (Ref. 24) zeigen, dass die Verluste in Abhängigkeit mit dem Netzdruck überproportional ansteigen. Andere Autoren haben dagegen eine lineare Abhängigkeit festgestellt.

Leitungsalter: Von Bedeutung für die Intensität der Wasserverluste ist die von den Betreiber-n verfolgte Erneuerungspolitik des Leitungsnetzes. In Deutschland werden im allgemeinen jährlich 2% der Leitungen erneuert. In England ist die Erneuerungsquote wesentlich kleiner (vgl. 22). Deutsche Städte weisen echte Wasserverluste auf, die pro Jahr 5% bis 15% der eingespeisten Wassermenge erreichen. Die Verluste englischer Städte liegen wesentlich höher, in den meisten Fällen höher als 25 %.

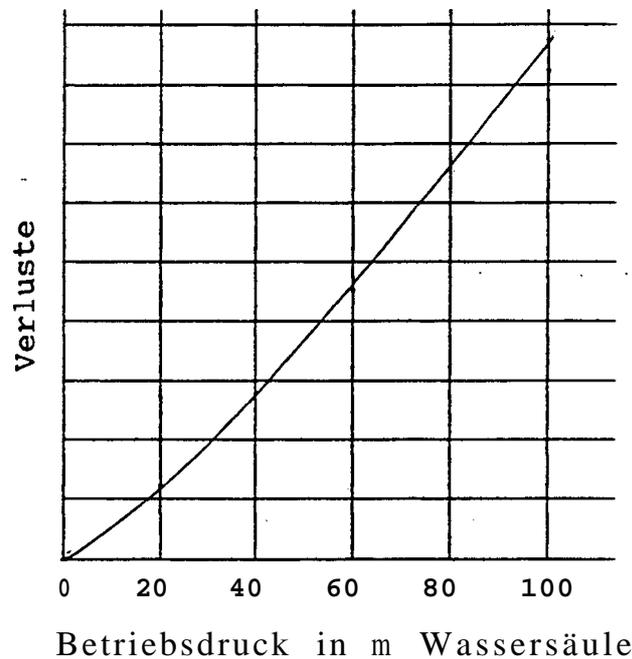


Fig. 14 Abhängigkeit der Wasserverluste vom Netzdruck (Ref. 24)

5.4 Bestimmung der Verluste

5.4.1 Bilanzierung

Die Verluste berechnen sich aus der Differenz zwischen total ins Netz geforderter und gesamtverkaufter Wassermenge. Damit überhaupt eine Bilanzierung durchgeführt werden kann müssen folgende Werte erhoben werden:

- Verkaufte Menge: Wenn das bezogene Wasser über die Verbrauchsmenge verrechnet wird, ist diese Grösse bekannt. Viele Wasserversorgungen in der Schweiz verrechnen aber noch heute das Wasser nach Pauschalwerten. Erfreulicherweise ist festzustellen, dass sich die Installation von Wasserzählern bei den Verbrauchern immer mehr durchsetzt.
- Eingespeiste Menge: Bekannt sind in der Regel die zum Reservoir oder direkt ins Netz gepumpten Mengen, da Pumpen normalerweise mit Durchflusszählern bestückt sind. Addiert man zu dieser Zahl die Mengen aus allfälligen Quellsfassungen ergibt sich daraus die total 'ins Netz eingespeiste Menge. Dies ist leider nicht immer möglich, da Quelleneinspeisungen oft nicht gemessen werden.
- Scheinbare Verluste: Zur Berechnung der tatsächlichen Verluste müssen die scheinbaren Verluste (Definition vgl. Kap. 5.1) abgezogen werden.

Die zur Durchführung einer Bilanzierung nötigen Zählerablesungen werden gewöhnlich nur einmal im Jahr durchgeführt. Die Beurteilung des Verteilnetzes kann also nur jährlich stattfinden. Da die Zählerablesungen eine gewisse Zeit beanspruchen, sind sie, wenn möglich, so zu organisieren, dass bei jedem Verbraucher die Verbrauchsperiode möglichst genau ein Jahr beträgt. Die Unscharfe der Bestimmung der Wasserverluste wird weiter verringert, wenn während einer verbrauchsarmen Zeit die Zähler abgelesen werden.

Nützlich für die Beurteilung der Wasserverluste ist auch der Vergleich ihrer Entwicklung über mehrere Jahre.

Auch wenn die Berechnung der Verluste mittels Bilanzierung lediglich den Jahresmittelwert wiedergibt und wenig über den Zustand der Wasserverluste in einem bestimmten Zeitpunkt aussagt, erlaubt sie mit sehr wenig Aufwand einen groben Ueberblick über die eigene Wasserversorgung zu gewinnen, indem die Ergebnisse mit den entsprechenden Werten anderer Wasserversorgungen oder mit Standardwerten verglichen werden. Dabei wird jedoch mit Vorteil der Verlustkennwert (Verlust pro Zeiteinheit und Rohrnetzlänge, vgl. Kap. 5.1) verwendet.

5.4.2 Nachzuflussmessungen

Um den Ist-Zustand der Wasserverluste zu bestimmen, wird der Nachtzufluss gemessen. Dabei wird bestimmt, wieviel Wasser in verbrauchsarmer Zeit (2.00 - 4.00 Uhr) ins Netz oder in einen bestimmten Netzteil fliesst. Da in dieser Zeit sehr wenig Wasser verbraucht wird, zeigt der gemessene Zufluss, ob irrtümlich Wasser verloten wird. Allfällige Verbraucher mit bedeutendem Wasserkonsum in der Nacht (Restaurationsbetriebe, Industrien mit Schichtbetrieb) müssen getrennt eruiert und deren Verbrauch bestimmt werden.

Werden die eingespeisten Mengen bzw. die Abflüsse aus den Reservoiren nicht gemessen, so kann am Ausgang des Reservoirs ein kleiner Zähler auf einem Bypass installiert werden, der zur Bestimmung des Nachtdurchflusses eröffnet werden kann. Der Nachtdurchfluss wird oft auch mit einem mobilen Messwagen bestimmt, indem zwei Hydranten mit einem Rohr verbunden werden, dessen Durchfluss gemessen wird.

In Wasserversorgungen wo nicht alle für die Durchführung einer Bilanzierung nötigen Werte vorhanden sind, können die Wasserverluste mit Hilfe von Nachtzuflussmessungen bestimmt werden.

5.5 Überwachung **des** Netzes

Eine Erfolgreiche Verlustminderung ist nur möglich, wenn frische Schadhstellen möglichst rasch erkannt und behoben werden. Dazu ist jedoch eine kontinuierliche Überwachung des Rohrnetzes nötig. Dies geschieht vorzugsweise mit regelmässigen Durchflussmessungen in verbrauchsarmen Zeiten (Nachtzuflussmessung vgl. Kap. 5.3). Dabei wird in jeder Nacht während einer bestimmten Zeitspanne der Zufluss ins Rohrnetz bzw. in eine Zone gemessen. Die resultierenden Werte werden ständig verglichen. Über sprunghaft auftretende Änderungen können so schadhafte Stellen entdeckt werden. Die Datenspeicherung und -auswertung kann auch automatisch z.Bsp. mit Hilfe eines PCs erfolgen. Anhand einer genügenden Anzahl von Messdaten können zudem die typischen Merkmale des Nachtflusses einer Wasserversorgung (Zeitspanne des niedrigsten Zuflusses, Schwankungen, Auftreten von Nullverbräuchen etc.) bestimmt werden. Eine regelmässige Nachtverbrauchsmessung ist zudem ein gutes Instrument für die Erfolgskontrolle durchgeführter Reparaturen.

5.6 Suche nach Leckstellen

5.6.1 Allgemeines Vorgehen

Wird das Auftreten einer Schadhstelle direkt sichtbar, etwa durch das Hervortreten von Wasser an die Oberfläche, dann wird der betroffene Strang rasch gesperrt und die Leckstelle repariert. Zeigen die Ergebnisse von Bilanzierungen oder Nachtflussmessungen ein langsames aber stetiges Ansteigen der Wasserverluste, dann muss früher oder später der Entscheid getroffen werden, die Leckstellen zu suchen und zu beheben.

Dazu bieten sich zwei Vorgehensweisen an: alle Stränge nach Lecks durchsuchen zu lassen (zumindest in den am meisten gefährdeten Gebieten) oder den Standort der grösseren Schäden zuerst einzugrenzen und in einem zweiten Schritt mittels spezieller Geräte präzise zu orten.

5.6.2 Eingrenzung

Es gibt verschiedene Verfahren zur Eingrenzung von schadhafte Rohrabschnitten, die in der Literatur ausführlich beschrieben sind (vgl. Ref. 13-17). Alle diese Verfahren arbeiten nach den gleichen Grundprinzipien. Das zu untersuchende Wassernetz wird in einzelne gut überschaubare sowie abschiebbare Sektoren unterteilt. Mit einer mobilen Messeinrichtung wird dann der Zufluss in den abgeschieberten Sektor (Fig. 15) während einer verbrauchsarmen Zeitspanne gemessen. Die Verbindung erfolgt über Schlauche zwischen einem innerhalb bzw. einem ausserhalb des gemessenen Gebietes liegenden Hydranten. Die Grösse der Sektoren sollte so gewählt werden, dass sich mehrere Male während der Messzeit ein kurzer Nullverbrauch (Moment ohne willkürlichen Wasserverbrauch) einstellt. Allfällige Dauerbezüger müssen dabei allerdings berücksichtigt werden. Durch systematische Verkleinerung wird das Gebiet mit der schadhafte Stelle möglichst stark eingegrenzt.

5.6.3 Ortung

Auf die oben beschriebene Eingrenzung folgt die genaue Ortung der Leckstelle. Wir mochten hier die verwendeten Verfahren kurz beschreiben. Weiterführende Erklärungen findet der interessierte Leser u.a. in Ref. 16.

Abhören

Das an einer undichten Stelle austretende Wasser verursacht ein sogenanntes Leckgeräusch, welches in der Abhormethode mit verschiedenen Hilfsmitteln zu lokalisieren versucht wird. Stärke und Frequenz des Geräusches hängen dabei von Bodenart, Rohrmaterial sowie Art und Grösse der Leckage ab. Die früher eingesetzten mechanischen Membrangeophone (sogenannte Horchdosen) wurden im Laufe der Zeit durch elektroakustische Geräte ersetzt (Körperschallmikrophone mit Verstärkern). Die grobe Ortung erfolgt durch Abhören an den Versorgungsleitungen, die feine Ortung in der Nähe der Leckstelle durch Ausnützung der Bodenvibrationen (Fig. 16). Der Erfolg dieser Methode hängt von der Erfahrung des Abhorchers ab und kann zudem nur in Abwesenheit störender Geräuschquellen (Verkehrslärm, Wind, Bäche, etc.) durchgeführt werden.

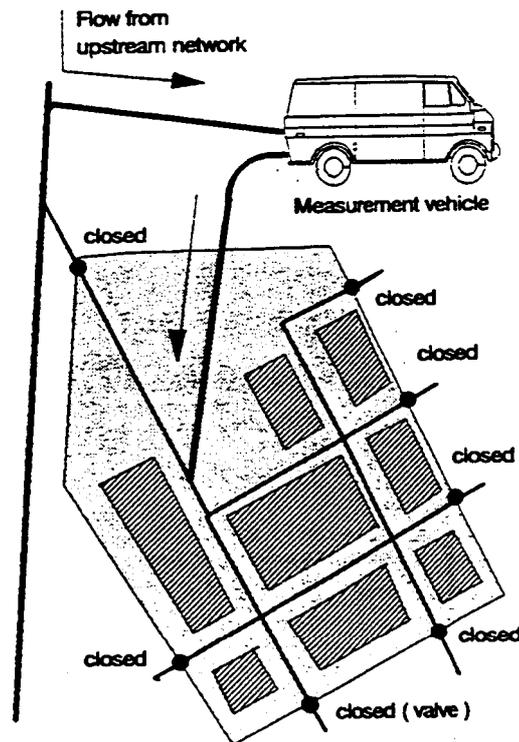
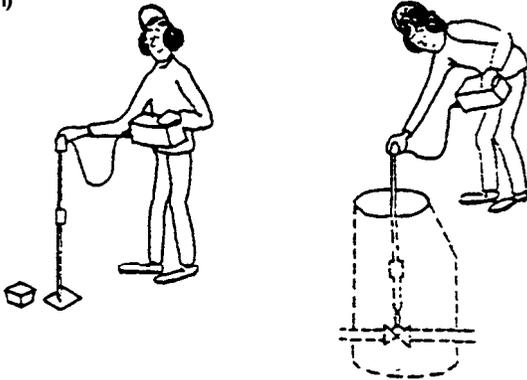


Fig. 15 Gebietseingrenzung bei der Suche einer Schadenstelle (aus 17)

Elektro akustisches Abhören

Verstärkung des Leckgeräusches über die Versorgungsleitung bzw. Armaturen)



Akustisches Geophon

Verstärkung der Leckgeräusche über Bodenvibrationen)

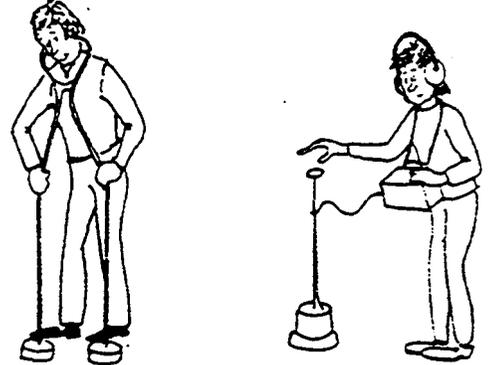
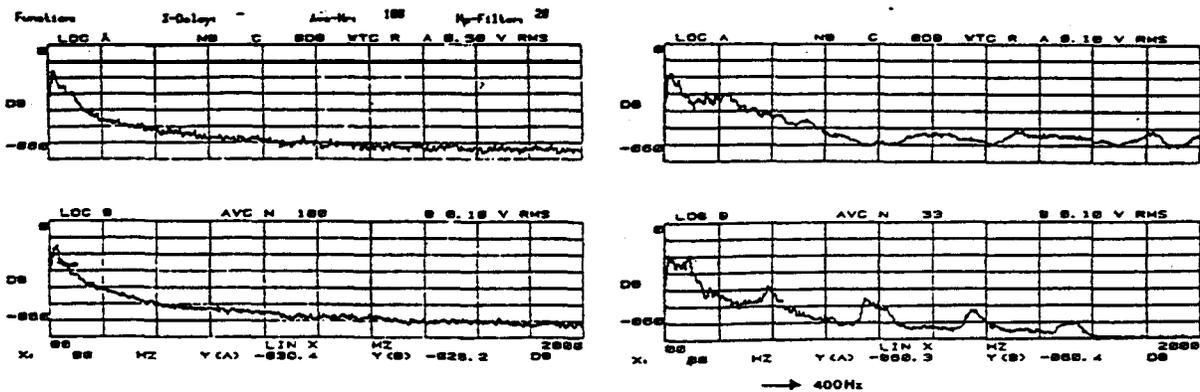


Fig. 16 Einsatz des elektro-akustischen Abhorens und des akustischen Geophons bei der Lecksuche (aus 16)

Verarbeitung elektro-akustischer Signale

Statt die durch Versorgungsleitungen Übermittelte Vibrationen zu verstärken und direkt wiederzugeben (elektro-akustisches Gerät) werden sie einer **Frequenzanalyse** mit Hilfe eines **Signalumwandlers** und eines Computers unterzogen. Aus dem Ergebnis kann geschlossen werden, ob ein Leck in der Nähe des Messpunktes vorhanden ist oder nicht.



Frequenzspektrum ohne Leckgeräusch

Frequenzspektrum mit Leckgeräusch

Fig. 17 Ergebnis einer Frequenzanalyse bei der Lecksuche (aus Ref. 16)

Korrelationsmethode

An zwei zugänglichen Punkten des defekten Rohrabschnittes werden Schallaufnehmer installiert, die das Leckgeräusch aufnehmen und in elektrische Signale umwandeln. Mit einem Computer (vgl. zum Beispiel Ref. 25) werden diese zwei Signale verarbeitet, wobei mit einer Korrelationsberechnung untersucht wird, inwieweit sie phasenverschoben gleich sind. Ist dies der Fall, dann stammen die zwei Signale aus einer einzigen Quelle, die das Leckgeräusch sein kann. Aus der Phasenverschiebung, der Schallgeschwindigkeit im betroffenen Rohrabschnitt und der Entfernung der zwei Messstellen lässt sich der Ort des Lecks exakt bestimmen. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens ist dessen Unabhängigkeit von Fremdgeräuschen (Verkehr, Umgebung). Bei geringen Geräuschen (kleine Leckagen, grosser Abstand zwischen Schallaufnehmern) und Kunststoffleitungen (schlechte Schallausbreitung) sinkt die Wahrscheinlichkeit einen Schaden orten zu können;

In einem Leitungsnetz einer Wasserversorgung gibt es nicht nur Geräusche aus Schadstellen. Um den Grundpegel der Geräuschsignale so tief wie möglich zu halten und die Aussagekraft der durchgeführten Korrelationsberechnung zu erhöhen, werden die eintretenden Signale gefiltert, d.h. vor der Berechnung werden bestimmte Frequenzbereiche unterdrückt, die von störenden Signalen erzeugt werden.

Hydraulische Methoden

Die Bedeutung einer Leckstelle kann hydraulisch ermittelt werden. Der vermutlich schadhafte Strang wird durch das Schliessen von Schiebern isoliert und dessen Druck mit einem Manometer gemessen. Die zeitliche Druckabnahme erlaubt die Berechnung des austretenden Wasserflusses (vgl. 23).

Befindet sich ein Strang mit einer Schadstelle in Hanglage, dann lässt sich die Schadstelle rasch bestimmen. Der Strang wird isoliert und der Druck unterhalb der Schadstelle gemessen. Nach der Entleerung des oberen Teiles des Stranges gibt das Manometer direkt an, wie hoch die Schadstelle liegt

Die Korrelationsfunktion $F(\tau)$ zwischen zwei Signalen $S_1(t)$ und $S_2(t)$ ist wie folgt definiert (vgl. auch Ref. 25):

$$F(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T S_1(t) \cdot S_2(t + \tau) dt$$

In der Praxis wird für T eine genügend grosse Zeitspanne gewählt, Wenn $S_1(t)$, $S_2(t + \tau)$ phasenverschoben gleich sind, existiert ein Wert von τ , sodass $S_1(t) = S_2(t + \tau)$ für alle Werte von t. Für diesen Wert von τ , welcher die Phasenverschiebung genannt wird, ist das Produkt $S_1(t) \cdot S_2(t + \tau) > 0$ für alle t. Mit der Folge, dass $F(\tau) > 0$. Für alle andere Werte von τ wird $F(\tau)$ wesentlich kleiner sein.

6. ZU MESSENDE DATEN UND DEREN AUSWERTUNG

6.1 Zu ermittelnde Daten

Eingespeiste Menge und Verbräuche

Die Berechnung der Energieindikatoren und die Erarbeitung von Energiesparmassnahmen erfordern die Kenntnis einer Reihe technischer Daten, welche eine Wasserversorgung vom energetischen Standpunkt her charakterisieren. Am wichtigsten sind die jährlichen Rohwasserentnahmen (Menge und Herkunft) sowie die jährlichen Verbräuche (Menge und Ort). Eingespeiste Menge und Verbräuche sollten für jede Druckzone ermittelt werden.

Das Verhalten von Quellen, insbesondere ihre minimale und maximale Ergiebigkeit in Funktion der Jahreszeit, sowie die Schwankung des Grundwasserspiegels sollten auch ermittelt werden.

Entnahmen aus Grundwasser und Oberflächengewässern werden in der Regel bei den Förderaggregaten gemessen. Einspeisungen von Quellwasser werden besonders in kleineren Wasserversorgungen oft nicht gemessen. In einzelnen Fällen lassen sich die Jahreswerte von Einspeisungen als Differenz zwischen Wasserabgabe aus einem Reservoir und ins Reservoir geförderter Wassermenge berechnen. Die Abflussmenge aus einem Reservoir wird aber bei kleineren Wasserversorgungen selten gemessen.

Bei der Ermittlung von Jahreswerten treten oft auch Schwierigkeiten und Unstimmigkeiten auf, weil Zähler ausfallen oder Daten nicht abgelesen werden. Um die Plausibilität der gemessenen Daten zu überprüfen und einen Trend festzustellen, empfiehlt es sich, die Messergebnisse mehrerer Jahre miteinander zu vergleichen. Schwierig ist oft die Bestimmung von Verbräuchen, die nicht verrechnet werden (öffentliche Verbräuche, Brunnen usw.).

Die Kenntnis der Jahreswerte von Rohwassergewinnung und Verbräuchen erlaubt die Bestimmung der prozentualen Jahresverluste p_v pro Druckzone (vgl. Abs. 6). Diese Grösse ist in einer Wasserversorgung sowohl für energetische Betrachtungen als auch für andere technische Aspekte sehr wichtig.

Neben den jährlichen Verbräuchen sollten auch folgende Verbrauchswerte ermittelt werden (immer pro Druckzone):

- höchster Verbrauch pro Stunde
- kleinster Verbrauch pro Stunde
- höchster Tagesverbrauch

Vom energetischen Standpunkt her ist die Kenntnis dieser Werte für folgende Aufgaben nützlich:

- Kalibrierung der Reservoirzuleitungen (unter Berücksichtigung der dynamischen Förderverluste)
- Wahl des Förderaggregates
- Steuerung des Förderaggregates
- Nutzungsstrategie der Reservoirs

Andere Daten

Die Berechnung der minimalen Energie E_{\min} erfordert die Kenntnis der Höhe über Meer der Verbraucher. Diese Höhen können aus den Katasterplänen abgelesen werden. Für die Durchführung von Änderungen (z. Bsp. die Aufteilung einer Druckzone), die vom energetischen

Standpunkt von Vorteil sein können, müssen zudem alle technischen Netzgegebenheiten bekannt sein (Leitungsdurchmesser, -hänge, Reibungskoeffizienten usw.), die für eine Netzsimulation gebraucht werden.

Um Energieverbrauch, Förderverluste und Wirkungsgrade zu bestimmen, sollen folgende Grössen gemessen werden:

- Elektrizitätsverbrauch
- Förderdruck
- Fördermenge

Bei den heutigen Pumpstationen der kleinen und mittleren Wasserversorgungen ist häufig nur ein Elektrizitätszähler installiert. Auch wenn die Fördermenge für jede Pumpe getrennt gemessen wird, lassen sich damit die Wirkungsgrade der einzelnen Förderaggregate nicht bestimmen. Möglich ist dagegen eine Einzelbestimmung durch Ablesen der Messgeräte während einer Zeitperiode mit schwachem Verbrauch, während welcher nur eine Pumpe in Betrieb ist.

Auswertungen

Werden Messungen und Erhebungen durchgeführt, dann sollen die ermittelten Werte systematisch und nach einer genauen Vorgabe ausgewertet werden, sodass Jahresvergleiche durchgeführt und Trends erkannt werden können. Die Auswertung kann per Hand, mit Hilfe eines Formulars, oder mit einem Computer durchgeführt werden.

Vom energetischen Standpunkt her sollten pro Druckzone und Jahr folgende Werte bestimmt oder berechnet werden:

- Verbrauchte Menge (pro Verbraucher)
- Maximum der verbrauchten Gesamtmenge mit Datum (Stundenwert)
- Minimum der verbrauchten Gesamtmenge mit Datum (Stundenwert)
- Höchster Tagesverbrauch
- Entnahmen (evtl. mit Maximalwert)
- Minimum und Maximum der Ausflusswerte der Quellen mit Datum
- Minimum und Maximum des Grundwasserspiegels mit Datum
- Verluste in % der verbrauchten Gesamtmenge
- Geförderte Wassermenge pro Förderaggregat
- Elektrizitätsverbrauch
- Höchster Förderdruck
- Förderverluste BV beim höchsten Förderdruck
- Wirkungsgrade der Förderaggregate beim höchsten Förderdruck
- Energieindikatoren 11 und 12.

6.2 Das minimale Data-Set

In Ref. 7 wird detailliert beschrieben, welche Daten in einer mittleren Wasserversorgung erhoben werden sollten.

In modernen mittleren und grösseren Anlagen werden heutzutage die Daten lokal gemessen, an eine Zentrale übermittelt und dann mit einem Computer ausgewertet. Dies geschieht sowohl in real-time für Überwachungs- und Steuerungsaufgaben als auch periodisch um statistische Werte zu erhalten.

Bei kleineren Wasserversorgungen ist eine solche vollständige Erhebung, Übermittlung und Auswertung der Daten wohl zu kostspielig.

Es gibt Wasserversorgungen (besonders jene, die über ergiebige Quellen verfügen), die überhaupt keine Daten erheben (nicht einmal die Verbräuche). Andere kennen ihre Verbräuche, weil sie das gelieferte Wasser verrechnen, aber nicht die Rohwasser-Entnahmen. Dies ist oft der Fall, wenn das Rohwasser einer Quelle in ein Reservoir eingespeist wird. Andere sind in

der Lage Entnahmen, Verbräuche und Wasserverluste zu bestimmen, aber nicht den täglichen Höchstverbrauch oder die maximale Spitzenspitze.

Es muss berücksichtigt werden, dass Messgeräte und ihre Wartung, die Datenübermittlung, die Überwachungszentralen und die Computerauswertungen kostspielig und für kleinem Wasserversorgungen schwierig zu tragen sind.

Zur Erhebung und Auswertung von Daten sollen daher Lösungen gefunden werden, die den Möglichkeiten der einzelnen Wasserversorgungen entsprechen.

Zumindest folgende Messgeräte sollen in jeder Druckzone fest installiert werden, um die Daten zu ermitteln, welche für die Überwachung der energetischen Qualität einer Anlage und zur Ausarbeitung von Energiesparmassnahmen benötigt werden:

- einfache Wasserzähler mit mechanischer oder elektronischer Wiedergabe für die Bestimmung der Zuflüsse aus Quellen
- ~~Wasserzähler~~ bei den Verbrauchern
- Zähler für die Bestimmung der geforderten Wassermenge
- Manometer für die Wiedergabe des Förderdruckes
- Elektrizitätszähler
- Wasserzähler für die Überwachung des Null-Verbrauches

Die Festsetzung eines Ableseprogrammes, die Eintragung der erhobenen Daten in Formulare und die Durchführung der Auswertungen sind mindestens so wichtig wie die Durchführung der Messungen selbst

6.3 Der Einsatz von Data-Logger

Data-Logger ohne externe Speicher

Data-Logger sind Rechner, die gewisse Operationen durchführen können (z. Bsp. Minimum- und Maximumbildung). Sie besitzen in der Regel einen relativ beschränkten Speicherplatz, eine digitale Wiedergabe, eine kleine Tastatur und mehrere Eingänge für die Aufnahme von Daten aus Messgeräten.

In der Wasserversorgung können Data-Logger u.a. dazu benutzt werden Minimal- und Maximalwerte von Quelleinspeisungen, Förder- und Ausflussmengen zu bestimmen. Data-Logger ermöglichen eine bessere Nutzung der von den Messgeräten gelieferten Messungen als einfache periodische Ablesungen der Messwerte. Sie können durch Schreiber ergänzt werden, die den zeitlichen Verlauf einer bestimmten Grösse graphisch wiedergeben.

Data-Logger mit externen Speichern

Auf einem externen Datenträger (Diskette, Kassette, memory card) können praktisch alle vom Data-Logger aufgenommenen Messwerte gespeichert und darauf in einem FC nach Belieben verarbeitet werden (Stundenwerte, Tageswerte, Monatswerte, Jahreswerte, Maxima, Minima usw.).

Data-Logger sind im allgemeinen preiswert, robust und einfach zu bedienen. Da sie aber lokal installiert sind, müssen die gespeicherten Daten periodisch abgeholt werden. Eine mit einem Data-Logger gemessenen Anlage kann nicht real-time überwacht werden.

Datenzentrale

Bei komplexeren Anlagen werden die gemessenen Daten mit Vorteil real-time zu einer Datenzentrale übermittelt. Eine solche Zentrale lässt sich in der Regel für mehrere Aufgaben einsetzen, u.a. für folgende Zwecke:

- Wiedergabe des Anlagezustandes in real-time (bildlich, graphisch oder mit Eilwerten)
- Beschreibung der vergangenen Entwicklung mit graphischen Darstellungen
- Überwachung der Überschreitung von Grenzwerten
- Erzeugung von Alarmsignalen
- Steuerung von Pumpen, Löschkappen
- Erstellung von Statistiken (vgl. Ref. 7)

6.4 Datenerhebung, -aufbereitung und -auswertung in einer grossen Wasserversorgung

Eine grosse und komplexe Wasserversorgung mit mehreren Wassergewinnungs- und Aufbereitungsanlagen sowie vielen Pumpwerken und Reservoirs lässt sich heute zentral überwachen und steuern. Dies ermöglicht eine optimale Bewirtschaftung der Pumpenanlagen und Reservoirs in Abhängigkeit der elektrischen Tarife (Winter, Sommer, Tag und Nacht). Die dabei notwendigen Prozesse zur Datenerhebung, -übermittlung und -aufbereitung sowie die Übermittlung der Steuerungssignale können recht komplex werden.

In Zürich, zum Beispiel (vgl. Ref. 26), weist das neue Zentralsteuerungs- und Überwachungssystem 4 Ebenen auf, die eng miteinander verbunden sind:

1 Aggregtzebene: Sie enthält elektromechanische und technische Einrichtungen (Klappen, Ventile, Motoren, Pumpen usw.).

2 Anlageebene: In einer Anlage sind mehrere zusammengehörige Aggregate zusammengefasst. Beispiele solcher Ebenen sind: Filteranlagen, Ozonanlagen, Pumpwerke, Dosierungsanlagen, Reservoirs usw..

3 Werkrechnerebene: Dabei handelt es sich um lokale Rechner, welche die Daten von einer oder mehreren Anlagen aufbereiten und zur Zentrale übermitteln und andere anlagebezogene Aufgaben übernehmen

4 Zentralsteuerungsebene: Sie ist das Herz des Systems, deren Hauptaufgaben wie folgt zusammengefasst werden können (vgl. Ref. 26):

- permanente Überwachung und Steuerung der Trinkwasserqualität und -quantität
- Visualisierung von Prozesszuständen
- Verarbeitung von Zustands- und Alarmereignissen
- Ausgabe von Bilanzen, Protokollen und Rapporten
- Archivierung

Da die Wasserversorgung in jeder Situation gesichert sein muss, wird die Zuverlässigkeit eines solchen Systems durch eine Reihe von Schutzmassnahmen stark erhöht, wie z.Bsp.:

- Der Zentralrechner wird doppelt geführt
- Ein Notinformationssystem ersetzt die ausgefallene Verbindung zwischen Steuerzentrale und Werkrechnern
- Die lokalen Anlagen können selbständig mit einer eigenen Lokalautomatik funktionieren
- Falls auch die Lokalautomatik aus, dann können die einzelnen Anlagen noch per Hand gesteuert werden

Die Installation eines solchen Systems ist sehr aufwendig, weil das alte noch vorhandene System in Betrieb bleiben muss, bis die volle Betriebsfähigkeit des neuen Systems erreicht ist,

7. DIE ENERGETISCHE ANALYSE EINER WASSERVERSORGUNG

7.1 Vorgehen

In diesem Abschnitt illustrieren wir mit Hilfe des Beispiels der Wasserversorgung Lugano-Massagno, wie eine energetische Analyse vorgenommen wird und welche Schwierigkeiten dabei entstehen können. Um alle Aspekte einer energetischen Analyse erläutern zu können, haben wir mit Absicht eine grössere Wasserversorgung ausgewählt: Die Analyse erfolgt in mehreren Schritten. Zuerst wird die Funktionsweise der Wasserversorgung beschrieben. In einem zweiten Schritt werden die energetischen Indikatoren berechnet. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei der Ermittlung der benötigten Daten geschenkt. Danach erfolgt die Untersuchung der einzelnen Beeinflussungsfaktoren und die Ausarbeitung von Energiesparmassnahmen.

7.2 Beschreibung der Wasserversorgung von Lugano-Massagno

Das Gebiet des untersuchten Wasserversorgungssystems erstreckt sich westlich des Cassarate-Flusses über die Ufergegend, den Talgrund und den östlichen Hang des Hügels zwischen dem Cassarate- und dem Vedeggio-Tal (siehe Fig. 18).

In diesem Gebiete befinden sich :

- . 25'200 Einwohner,
- . 29'900 Arbeitsplätze,
- . 3'800 Plätze in Ferienwohnungen und Hotels.

Die Gebiete der Stadt Lugano, die sich östlich des Cassarate Flusses befinden, werden von diesem System nicht abgedeckt. Sie gehören zu den vor einiger Zeit eingemeindeten Gemeinden von Castagnola, Aldesago und Bré, die schon über ein eigenes Wasserversorgungssystem verfügten.

Um zu hohe Drucke zu vermeiden, ist das Leitungsnetz in verschiedene Zonen eingeteilt, hauptsächlich in Funktion der Höhe (vgl. Fig. 18). Die wichtigste davon ist die Zone Bassa mit dem Zentrum von Lugano und der Ufergegend. Im nördlichen Teil des Talbodens befinden sich die zwei Zonen Comaredo und Comaredo ridotta. Die Zone Media deckt den unteren Teil der Hangseite ab. Diese Zone erstreckt sich in Nord- und Südrichtung entlang des ganzen Siedlungsgebietes der Gemeinden Lugano und Massagno und ist topographisch relativ unregelmässig. In einzelnen Teilen dieser Zone werden höhere Drucke erreicht (bis 10 bar). Die Zone Alta ridotta versorgt ein kleines Gebiet oberhalb der Bahnlinie. In diesem Gebiet variiert der statische Druck bei den Verbrauchern wenig und liegt fast überall etwas über 7 bar. Topographisch etwas unregelmässig ist die Zone Alta. Der Betriebsdruck ist in diesem Gebiet hoch und variiert zwischen 9 und 13 bar.

7.3 Wassergewinnung, Speicherung und Verteilung

Die untersuchte Wasserversorgung verfügt über Quell- und Grundwasser. Das Quellwasser stammt aus den Cusello-Quellen, deren Wasser an den südlichen Hängen des Tamaro-Berges mit Hilfe eines ausgedehnten Fassungssystems gewonnen wird. Dieses Wasser wird dann, zum Teil entlang dem Vedeggio-Tal, bis zum Reservoir Massagno in der Ortschaft Massagno geführt (Fig. 18).

Das Grundwasser wird aus den zwei Brunnen Manno 1 und Manno 11 gewonnen. 1992 war praktisch nur Manno 11 in Betrieb.

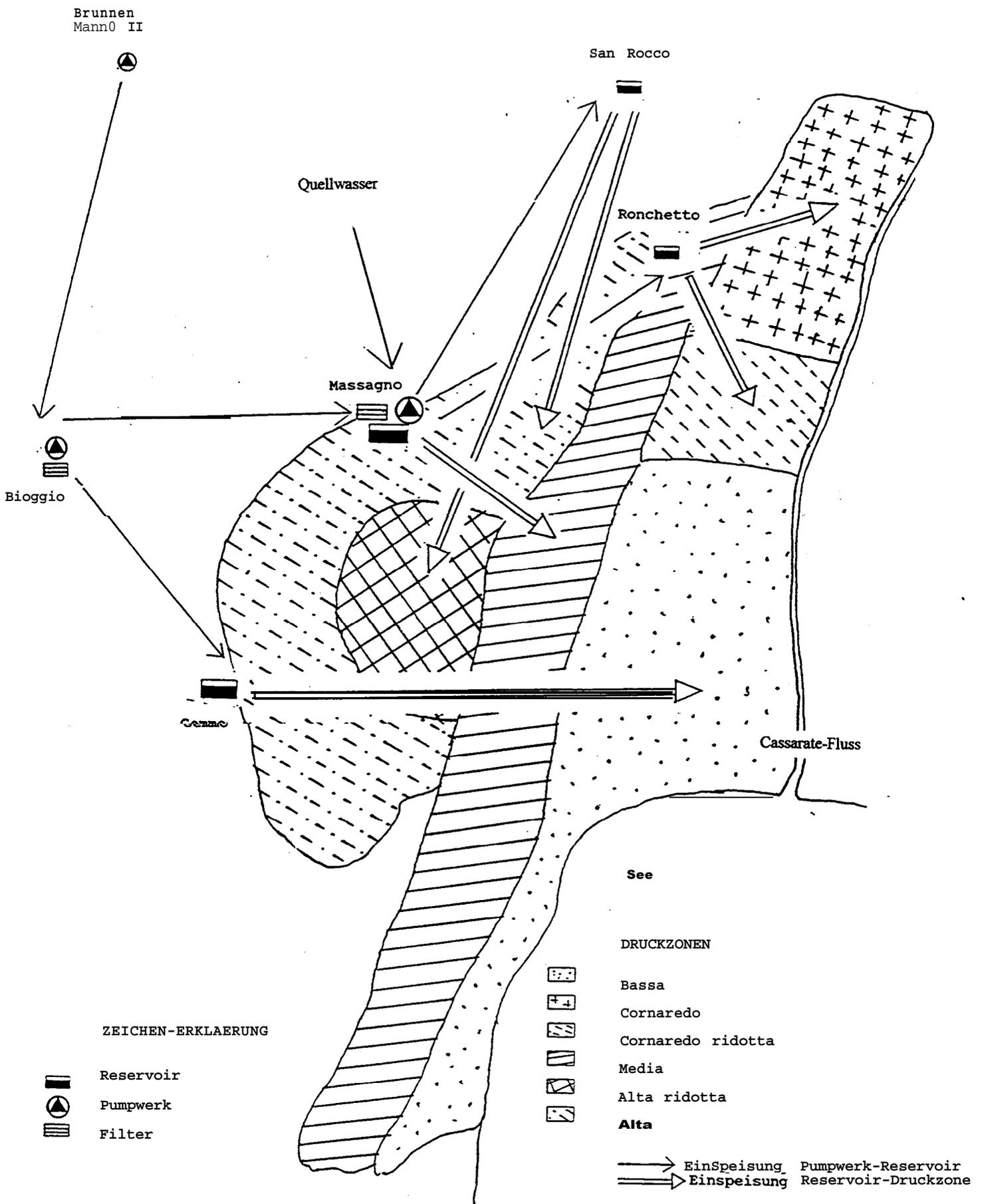


Fig. 18 Wasserversorgung von Lugano-Massagno
 Zoneneinteilung, Reservoirs, Pumpwerke
 und Filter

1992 wurden folgende Wassermengen gewonnen:

- Grundwasser 6'347'000 m³
- Quellwasser 2'505'000 m³

Sowohl das Quell- als auch das Grundwasser werden mittels Dolomitfilter gegen die CO₂-Aggressivität behandelt. Das Grundwasser, in Bioggio und Manno gewonnen, wird entweder zur Filteranlage Massagno oder zur Filteranlage Bioggio gepumpt. Das behandelte Wasser von Massagno wird zum Reservoir Massagno und jenes von Bioggio zum Reservoir Gemmo geführt (Fig. 19).

Die Filterkapazität ist grosszügig bemessen. Sie reicht für die Behandlung von Wassermengen, die grösser sind als der Verbrauch der maximalen Stundenspitze. Dies gilt sowohl für Bioggio (Filterkapazität: 600 l/s) als auch für Massagno (500 l/s).

Die Wasserversorgung von Lugano verteilt nicht nur Wasser auf dem eigenen Versorgungsgebiet, sondern beliefert zahlreiche Gemeinden in der Umgebung. Fig. 19 zeigt, welchen Gemeinden Wasser verkauft wird und aus welchem Netzteil das Wasser entnommen wird. 1992 betrug die gesamte Wassergewinnung 8'852'000 m³. Davon wurden 2'947'000 den umliegenden Gemeinden abgegeben. Im untersuchten Versorgungsgebiet wurden also 5'905'000 m³ in das Netz der Wasserversorgung von Lugano eingespeist.

Das Quellwasser und ein Teil des in der Vedeggio Ebene gewonnenen Grundwassers wird zum Reservoir Massagno geführt. Dieses Reservoir speist durch Gravitationskraft die Zone Media und das Reservoir Ronchetto. Durch einige Druckmduzierventile zwischen den Zonen Media und Bassa (Fig. 19) gelangt auch Wasser direkt vom Reservoir Massagno in die Zone Bassa. Aus dem Reservoir Massagno wird Wasser zum Reservoir San Rocco gepumpt, das verschiedene anliegende Gemeinden und die Zonen Alta und Alta ridotta mit Wasser beliefert. Das Reservoir Ronchetto speist seinerseits die Zonen Cornaredo und Comaredo ridotta.

Wie schon erwähnt, wird das restliche Grundwasser dem Reservoir Gemmo zugeführt, das die Zone Bassa mit Wasser versorgt. Die Wasserversorgung von Lugano und Massagno (westlicher Teil des Cassarate-Tales) verfügt also über 4 Wasserreservoirs, deren Merkmale im Anhang 1 zusammengefasst sind.

7.4 Wassernutzung und Verluste

Die verrechneten Verkäufe lassen sich aus Ref. 1 ermitteln. Mit den zur Verfügung stehenden Daten war es nicht möglich die verrechneten öffentlichen Verbräuche direkt zu bestimmen. Die zur Verfügung stehenden Zahlen beziehen sich auf das gesamte Gebiet der Stadt, das von zwei Wasserversorgungssystemen beliefert wird (vgl. 7.1). Wir haben uns mit einer Schätzung beholfen, indem wir die verrechneten öffentlichen Verbräuche zwischen den zwei Systemen proportional aufgeteilt haben (proportional zur Menge der verrechneten Verkäufe). Dadurch ergab sich für 1992 eine Wassernutzung von 4'911'000 m³ (mit Wassernutzung verstehen wir die Wassermenge, welche die Verbraucher aus dem Netz entnommen haben).

Bezogen auf die total genutzte Wassermenge betragen die Verluste und die nicht verrechneten öffentlichen Verbräuche 20.2%.

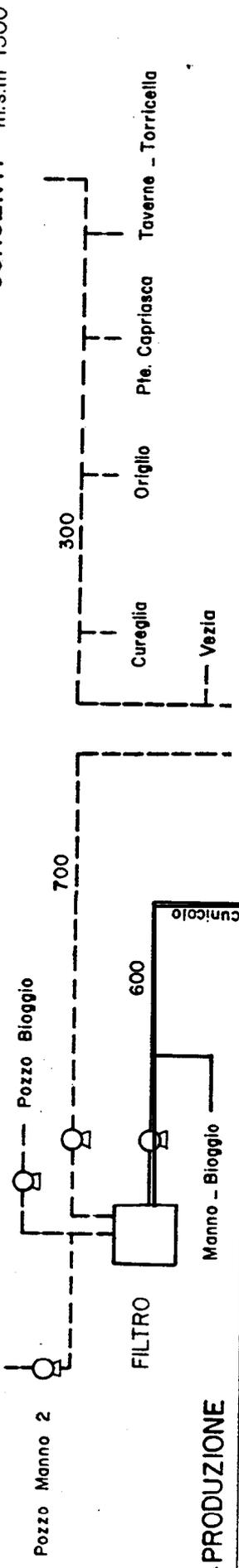
7.5 Elektrizitätsverbrauch

Der Elektrizitätsverbrauch der einzelnen Pumpwerke der Wasserversorgung Lugano-Massagno (rechts vom Cassarate-Fluss) betrug 1992:

Pumpwerk Manno II	581'505	kWh
Bioggio	3'243'040	kWh
Massagno	1975'170	kWh

SOTTOSUOLO m.s.m 290

SORGENTI m.s.m 1300



PRODUZIONE

SERBATOIO GEMMO m.s.m 370

SERBATOIO MASSAGNO m.s.m. 393

SERBATOIO S. ROCCO m.s.m 541
 COMANO
 VEZIA
 CANOBBIO
 PORZA
 CUREGLIA -
 ORIGLIO

ZONA ALTA

m.s.m. 360

43

ZONA MEDIA

m.s.m 300

SERBATOIO RONCHETTI m.s.m 370

Paradiso-Loreto Adami Sossello Centro S. Anno

P. Molino - Nuovo

Scuola Molino-Nuovo

Cornaredo

Fig. 19 Wasserversorgung von Lugano-Massagno Versorgungsschema

ZONA BASSA

In diesen Zahlen ist auch die Energie enthalten, welche für die Förderung der Wassermengen verbraucht wird, die den anliegenden Gemeinden geliefert wird. 34 % des von den Pumpwerken Manno und Bioggio geförderten Wassers sind für diese anliegenden Gemeinden bestimmt. Für das Pumpwerk Massagno beträgt die gleiche Grösse 58 %. Die Energie E für die Förderung des Wassers, welches ins Netz der Wasserversorgung selbst eingespeisen wird, lässt sich wie folgt berechnen:

Pumpwerk Manno II	$581'505 \cdot 0.66 = 384'000 \text{ kWh}$
Pumpwerk Bioggio	$3'243'000 \cdot 0.66 = 2'140'000 \text{ kWh}$
Pumpwerk Massagno	$1'975'000 \cdot 0.42 = 829'000 \text{ kWh}$
Total	$3'353'000 \text{ kWh}$

Sowohl das Pumpwerk Manno II als auch das Pumpwerk Bioggio beziehen den Strom von der Azienda elettrica Lugano. Dieses Werk sowie die Wasserversorgung selber gehören zur Gruppe Aziende industriali Lugano. Die Wasserversorgung bezahlt dem Elektrizitätswerk praktisch keinen Strom (nur einen symbolischen Rappen pro kWh). Das Pumpwerk Massagno bezieht dagegen den Strom von der Azienda elettrica Massagno, die der Wasserversorgung ihren Stromverbrauch verrechnet.

Vom Elektrizitätsverbrauch wurde die für die Wasserbehandlung benötigte Energie nicht abgezogen. Sie dürfte 2-3 Prozente des gesamten Verbrauches betragen.

7.6 Energetische Indikatoren

E_{min}

Nach Kapitel 3 ist die minimale Energie E_{min} wie folgt definiert:

$$E_{min} = E_{pv} - E_{pq} + E_{nd}$$

wobei:

E_{pv} = Potentielle Energie (auf das Meeresniveau bezogen) der jährlich genutzten Wassermenge bei den Abnehmern in kWh

E_{pq} = Potentielle Energie (auf das Meeresniveau bezogen) der jährlich genutzten Wassermenge bei der Wasserentnahme (Quell-, Grund- und Seewasser) in kWh

E_{nd} = Theoretische Energie für die Erzeugung eines Betriebsdruckes ausgehend von der Abnehmerhöhe in kWh. Als Betriebsdruck wählen wir 6 bar.

Zur Berechnung der minimalen Energie E_{min} (vgl. Kap. 3) haben wir die Verbräuche pro Knotenpunkt, die in Ref. 2 für 1984 publiziert wurden, gemäss der Entwicklung des gesamten Wasserverbrauches im Jahr 1992 hochgerechnet.

Die gesamte potentielle Energie E_{pv} des genutzten Wassers bei den Verbrauchern lässt sich als Summe der Werte der potenziellen Energie bei den einzelnen Verbrauchern darstellen (vgl. Kap. 3, eingerahmter Kasten, $(Qv)_i$ - Werte). In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse dieser Summe zusammen mit den Verbräuchen für das Jahr 1992 pro Druckzone aufgelistet.

Zone	verrechneter Verbrauch Q_V (in 1000 m ³)	E_{pv} (in 1000 kWh)
Bassa	2154	1720
Comaredo rid.	484	386
Comaredo	329	272
Media	874	788
Alta rid.	110	109
Aha	960	1059
	-----	-----
Total	4911	4332

Tab. 1 Potentielle Energie E_{pv} der genutzten Wassermengen bei den Verbrauchern:

Wir haben also:

$$E_{pv} = 4332 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

Um die potentielle Energie der genutzten Wassermengen bei den einzelnen Entnahmestellen zu berechnen, ist die Kenntnis der Höhe der Entnahmestellen über Meer unerlässlich. Schwierig war die Ermittlung der durchschnittlichen Grundwasserspiegelhöhe im Brunnen Manno II Dieser Spiegel schwankt stark in Funktion von Jahreszeit und Wasserentnahme. Wir haben seine durchschnittliche Höhe auf 276 m ü.M. geschätzt. Die jährlichen Beträge Q_E der Wasserentnahmen für das Jahr 1992 sind in Tabelle.2 aufgeführt.

Die Berechnung von E_{pq} erfolgt mit Hilfe der Angaben der zwei ersten Kolonnen der Tabelle 3 (die $(Q_E)_k$ - und H_k - Werte). Die Wasserverluste p_v in Prozent der genutzten Wassermenge betragen hier 20.2 %

	eingespeiste Menge Q_E (in m ³)	Höhe ü. M. (in m)	potentielle Energie (in 1000 kWh)
Grundwasser (Manno II)	4'190'000	276	2'673
Quellwasser (Massagno)	1'647'000	393	1'496
Sorengo (Tausch)	68'000	340	54

Total			4'223

Tab. 2 Potentielle Energie bei den Entnahmestellen der genutzten Wassermengen.

Wir haben:

$$E_{pq} = 4'223 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

$$E_{nd} = 4'911 / 3.6 \cdot 60 \cdot 9.81 = 803 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

Daraus folgt

$$E_{min} = E_{pv} - E_{pq} + E_{nd} = (4332 - 4223 + 803) \cdot 10^3 = 912 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

Ähnlich lässt sich E_{min} berechnen (vgl. Kap. 3):

$$E_{min} = (3609 - 3323 + 679) \cdot 10^3 = 965 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

Nach Abschnitt 7.4:

$$E = 3.353 \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

11

Nach Kap. 3 ist 11 wie folgt definiert:

$$\Pi = E_{\min} / Q_V$$

In Zahlen:

$$\Pi = 912/4911 = 0.19 \text{ kWh} / \text{m}^3$$

12

Nach Kap. 3

$$I_2 = E / FE_{\min}$$

In Zahlen:

$$I_2 = 3'353 / 965 = 3.47$$

7.7 Beeinflussungsfaktoren

12 zeigt das Verhältnis zwischen der Energie, die effektiv verbraucht wird, und dem Energieminimum, das in jedem Fall benötigt wird, auch wenn die Förderaggregate einen Wirkungsgrad von 1.0 und die Verluste p_v gleich 0 sind.

Wie im Abschnitt 2.2 erläutert, bestimmen einige Faktoren den effektiven Energieverbrauch und damit die Höhe des Indikators 12. Eine Untersuchung dieser Faktoren wird uns erlauben, die Höhe von 12 zu erklären und Energiesparmassnahmen auszuarbeiten.

Reservoirs

Die grösste Druckzone, die Zona Bassa, befindet sich in einer durchschnittlichen Höhe von 280 m ü. M.. Sie wird im wesentlichen vom Reservoir Gemmo versorgt, das in einer Höhe von 370 m U.M. liegt. Der daraus resultierende Höhenunterschied ist zu gross. Er ist durch die Tatsache bedingt, dass das Wasser über den Hügel zwischen dem Vedeggio- und dem Cassarate-Tal transportiert werden muss. Ähnliches gilt für die Druckzonen Comaredo und Cornaredo ridotta, die sich in einer Höhe von ca. 290 m ü.M. befinden und mit Wasser versorgt werden, das aus dem Reservoir Massagno in einer Höhe von 393 m ü.M. stammt

Die Zona Alta, im Durchschnitt ca. 390 m ü.M., und die Zone Alta ridotta werden vom Reservoir Roccolo beliefert, das auch andere Aussengemeinden bedient. Roccolo liegt mit einer Höhe von 541 m ü.M. für diese zwei Zonen viel zu hoch.

Die Struktur der Wasserversorgung mit dem Wassertransport über den Hügel zwischen dem Cassarate und dem Vedeggio-Tal sowie die Höhe des Wasserreservoirs San Rocco wirken sich auf den Energieverbrauch ungünstig aus.

Zuleitungen

Die Zuleitungen zu den Reservoirs sind grosszügig bemessen. Sie erlauben eine Einspeisung, die höher liegt als der maximale Stundenverbrauch. Die Leistungswerte der einzelnen Zuleitungen sind in der nachfolgenden Tabelle enthalten.

Z u l e i t u n g	Kapazität (l/s)	dyn. Druckabfall (bar)	angenommene Rauheit (mm)
Manno II - Bioggio	800	0.3	1.0
Bioggio - Massagno	400	0.4	1.0
Bioggio - Gemmo	250	0.9	1.0
Massagno - Ronchetto (300 mm)	90	1.1	0.5
(150 mm)	20	0.8	0.5
Massagno - San Rocco (ohne Abgaben ins Netz)	150	0.6	0.5
Massagno - San Rocco (mit fol- genden Abgaben ins Netz: - rid. San Maurizio: 40 l/s - rid. Massagno: 70 l/s)	90.	0.3	0.5

Tab. 3 Kapazität der Zuleitungen zu den Reservoirs

Der dynamische Druckabfall ist nur bei der Verbindung Bioggio-Gemmo von Bedeutung. Die Zuleitungen sind gross kalibriert und haben wenig Einfluss auf die Höhe von I2.

Pumpen

Wir haben die durchschnittlichen Wirkungsgrade der einzelnen Pumpstationen aus den jährlich geförderten Wassermengen, der Förderhöhe und des jährlichen Elektrizitätsverbrauches berechnet. Die Angaben über die Pumpencharakteristika der Wasserversorgung der Stadt Lugano sind im Anhang 2 enthalten.

Da der Grundwasserspiegel in Manno II stark variiert und uns schlecht bekannt ist, lässt sich der durchschnittliche Wirkungsgrad des Pumpwerkes Manno II nur grob schätzen. Wir haben in unseren Berechnungen eine Förderhöhe von 22 m verwendet. 1992 wurden 6'357'000 m³ Wasser gefördert und dabei 581'705 kWh Strom verbraucht, was einen Wirkungsgrad von 0.67 ergibt. Verglichen mit den Werten aus Fig. 8 (Kapitel 4) liegt dieser Wert in Anbetracht der niedrigen Förderhöhe 10% zu tief.

Im Pumpwerk Bioggio wirken 2 Pumpengruppen. Eine für die Förderung des Wassers nach Massagno und eine für die Förderung des Wassers nach Gemmo. Mit der Ersten wurden 3760'000 m³ unter Überwindung einer Förderhöhe von 114 m gepumpt. Die zweite Gruppe förderte 2'560'000 m³ mit einer Förderhöhe von 99 m. Der effektive Elektrizitätsverbrauch erreichte 3'243'040 kWh. Dies ergibt einen Wirkungsgrad von 0.58. Im Verbrauch enthalten ist auch die Energie zur Spülung der Filter und für den Betrieb der Ventilatoren. Da die Zahlen über die geförderten Wassermengen unsicher sind, liegt der Wirkungsgrad vermutlich höher. Direkte Messungen haben einen Wert von 0.61 ergeben. Auch dieser Wert scheint uns im Vergleich mit jenem aus Fig. 8 (Kapitel 4) relativ niedrig.

Im Pumpwerk Massagno wurden 2'803'000 m³ mit einer Förderhöhe von 155 m zum Reservoir San Rocco gepumpt. Der elektrische Verbrauch betrug 1'975'170 und der Wirkungsgrad der Pumpen 0,6 l. Auch hier ist der Wirkungsgrad sicher höher weil im Elektrizitätsverbrauch die durch die Filterstationen benötigte Energie enthalten ist. Direkte Messungen haben einen Wirkungsgrad von 0.64 ergeben.

Der durchschnittliche Wirkungsgrad der Pumpen kann noch verbessert werden. Dieser Aspekt sollte im Falle einer Erneuerung beachtet werden.

Verluste

In 7.3 wurden die Verluste auf 20.2 % der genutzten Wassermenge geschätzt. Diese Schätzung ist wegen der Aufteilung der verrechneten öffentlichen Verbräuche zwischen der Wasserversorgung von Lugano und jener von Castagnola - Aldesago - Bré unsicher. Wir kennen zudem die nicht verrechneten öffentlichen Verbräuche nicht (sie erscheinen in den Verlusten) und wissen nicht, ob sie aus bestimmten Gründen besonders hoch sind.

Sollte eine nähere Überprüfung zeigen, dass die Verluste tatsächlich in der Nähe von 20.2 % der genutzten Wassermenge liegen, dann sollten Massnahmen getroffen werden, um sie zu reduzieren.

7.8 Energiesparmassnahmen

Da das Reservoir San Rocco für die Zonen Alta und Alta ridotta viel zu hoch gelegen ist, sollte die Versorgung dieser Zonen direkt mit drehzahlregulierbaren Pumpen vom Reservoir Massagno aus erfolgen. Durch Druckreduzierventile, die sich bei einem Stromunterbruch oder bei zu starkem Druckabfall (Brand, ausserordentlich hoher Verbrauch) öffnen, könnte die Verbindung zu San Rocco weiterbestehen.

Für die Einspeisung von Wasser in die Zonen Alta und Alta ridotta (via Reservoir San Rocco) wurden 1992 beim Pumpwerk Massagno 829'000 kWh benötigt. Durch eine direkte Einspeisung mit drehzahlregulierbaren Pumpen könnte mehr als die Hälfte davon gespart werden (500'000 kWh). Die dazu notwendigen Umbauarbeiten wurden für den Hauptteil dieser Zonen relativ wenig kosten. Im östlichen Teil (Spital) wäre dagegen der Bau einer Hauptleitung notwendig.

Die Wasserversorgung von Lugano wird in nächster Zukunft drehzahlregulierbare Pumpen beim Pumpwerk Manno II einsetzen. Dadurch kann die Fördermenge konstant gehalten und der von den Schwankungen des Wasserspiegels beeinträchtigte Wirkungsgrad wesentlich verbessert werden.

Im Hinblick auf einen allfälligen Ersatz der Förderaggregate vom Pumpwerk Bioggio sollte untersucht werden, inwieweit der Einsatz energiesparender Aggregate den Gesamtwirkungsgrad dieser Pumpstation erhöhen könnte.

Der Ersatz von älteren und besonders gefährdeten Leitungen und eine intensivierete Lecksuche sollte erlauben, die Verluste zu vermindern. Die Verluste aller Netzteile sollten im Rahmen der geplanten Steuerungszentrale ständig gemessen und überwacht werden.

7.9 Elektrizitätsgewinnung

1992 wurden täglich durchschnittlich 16'200 m³ ins Netz eingespeist. Das Verhältnis zwischen höchster und durchschnittlicher Tagesförderung betrug 1.5 (vgl. Figur 13). D.h.: Die höchste an einem Tag eingespeiste Wassermenge erreichte 1992 24300 m³. Bei dieser Verbrauchsin-tensität werden durchschnittlich total 281 l/s ins Netz eingespeist.

Zwischen dem Reservoir Gemmo und der Zone Bassa wird heute der Druck mit Hilfe eines Ventils reduziert. Hier müsste abgeklärt werden, ob der Einsatz einer Turbine in dieser Verbindungsleitung eine wirtschaftliche Elektrizitätsproduktion erlauben würde. Durch die Leitung fließen im Durchschnitt 80 l/s mit einem Höhenunterschied von 20 m. Unter der Annahme, dass der Wirkungsgrad einer Turbine mit Generator 0.7 erreicht, könnten $80 \cdot 20 \cdot 0.7 \cdot 9.8 \cdot 24 \cdot 365 / 1000 \cong 96'000 \text{ kWh}$ gewonnen werden.

Die **Verbindung** zwischen dem Reservoir Massagno und dem Reservoir Ronchetto eignet sich wahrscheinlich weniger für eine Energierückgewinnung, da die Verbindungsleitungen zu lang sind und die dynamischen Druckverluste den nutzbaren Betriebsdruck vermindern.

Eine bedeutende Energierückgewinnung wäre wahrscheinlich auch bei einzelnen vom Reservoir San Rocco belieferten Gemeinden möglich.

7.10 Einspeisungen der Reservoirs während der Nacht

Mit Hilfe der in Ref. 2 wiedergegebenen Verteilungen der einzelnen Verbräuche lässt sich die in jede **Zone** durchschnittlich eingespeiste tägliche Wassermenge berechnen. Der Spitzenstundenverbrauch wird unter der Annahme bestimmt, dass das Verhältnis zwischen Spitzenstundenverbrauch und durchschnittlichem Stundenverbrauch des Tages mit dem höchsten Verbrauch gleich 1.5 ist. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in der nachfolgenden Tabelle enthalten:

Zone	durchschn. tägliche Einspeisung (m ³)	Einspeisung während der Spitzenstunde (l/s)
Bassa	7109	185
Comaredo rid.	1591	41
Comaredo	1080	28
Media	2870	75
Aha rid.	363	10
Alta	3187	83
	-----	----
Total	16200	422

Tab. 4 Wassereinspeisung in die einzelnen Druckzonen der Wasserversorgung von Lugano-Massagno

Wie ein Vergleich zwischen den Tabellen 3 und 4 zeigt, übersteigen die Leistungen von Pumpwerken, Filterstationen und Zuleitungen die während der Spitzenstunde erforderlichen Wassermengen. Auch die Anforderungen der Brandbekämpfung (vgl. Ref. 4) können problemlos erfüllt werden. Unter solchen Voraussetzungen kann das Fassungsvermögen der Reservoirs dazu benutzt werden, die Einspeisung so zu steuern, dass die Reservoirs am Ende der Nachtperiode beinahe voll und am Ende des Tages nahezu leer sind. Mit dieser Strategie wird der Elektrizitätsverbrauch so weit wie möglich in die Nachtperiode verschoben.

Durch das Reservoir Gemmo fließen täglich im Durchschnitt 5'000 m³ Wasser in das Leitungsnetz. Da das Reservoir eine Kapazität von 5000 m³ aufweist, kann an einem mittleren Tag praktisch nur nachts gepumpt werden.

Ähnliches gilt in vermindertem Mass für das Reservoir Ronchetto, das auch vorwiegend nachts aufgefüllt werden kann.

Das gewonnene Quellwasser wird in das Reservoir Massagno eingespeist. Dabei ist zu beachten, dass kein Quellwasser überläuft. Dies erfordert die Freihaltung einer gewissen Kapazität für das Quellwasser.

Zum Reservoir San Rocco (und gleichzeitig ins Netz) werden im Schnitt pro Tag 7'660 m³ gepumpt. Diese Zahl halbiert sich mit dem Einsatz drehzahlregulierbarer Förderaggregate zur direkten Einspeisung der Zonen Aha und Alta ridotta. Für dieses Reservoir mit einer Kapazität von 3'800 m³ ist abzuklären, in welchem Masse eine Verschiebung der Wasserlieferungen an

die angrenzenden Gemeinden in die Nachtperiode möglich wäre Auf jeden Fall ist auch bei diesem Reservoir ein beträchtliches Verschiebungspotential vorhanden.

Das Elektrizitätswerk der Stadt Lugano verrechnet unterschiedliche Strompreise für Tages- und Nachtperiode. Folgende Tarife werden angewendet:

	Sommer	Winter
tags	16 Rp/kwh	17 Rp/kwh
nachts	9.5 Rp/kwh	10.5 Rp/kwh

Auf der Basis der städtischen Tarife könnten bei den Pumpwerken mit einer Verschiebung des Elektrizitätsverbrauches in die Nachtperiode Einsparungen in der Grössenordnung von 100'000 - 200'000 Fr. erzielt werden.

8. KOMMENTAR ZU DEN ERGEBNISSEN DER BEISPIELUNTERSUCHUNGEN

8.1 Ziel

Mit der Untersuchung konkreter Beispiele wollte man folgende Ziele verfolgen:

- Abklärung der Problematik der Datenbeschaffung: Inwieweit kann man mit den heute zur Verfügung stehenden Messwerten und Daten die Indikatoren berechnen und Energiesparmassnahmen ausarbeiten? Welche Mängel lassen sich im heutigen Datenbestand feststellen?
- Überprüfung der Aussagekraft der im Abschnitt 3 abgeleiteten Energieindikatoren.
- Ableitung von in der Praxis möglichen Energiespar- und Energiemanagementmassnahmen.

Die Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen Massnahmen (Kosten-Nutzen-Analyse) war nicht Gegenstand der Abkhrungen. Sie zu bestimmen hätte die Durchführung von Projektierungsarbeiten erfordert, welche im finanziellen Rahmen dieser Arbeit nicht möglich waren.

Folgende Wasserversorgungen wurden untersucht: Lugano-Massagno, Castagnola-Aldesago-Bré Acquedotto industriale Lugano, Sagno, St. Moritz insgesamt, St. Moritz Dorf-Bad und Diepoldsau. Die Analyse der Wasserversorgung Lugano-Massagno ist im Kapitel 7 als Beispiel eingehend vorgestellt worden. Die Untersuchung sowie die Ergebnisse von Sagno und vom Acquedotto industriale Lugano sind in den Anhängen 3 und 4 beschrieben.

8.2 Daten

Die untersuchten Beispiele sind u.a. aufgrund ihres guten Datenbestandes gewählt worden. Trotz dieser guten Voraussetzung zeigen die gemachten Erfahrungen, dass die heute zur Verfügung stehenden Daten bei der Durchführung von Energieanalysen zu Unsicherheiten führen können.

Wir mochten folgende Schwierigkeiten erwähnen:

- Der Wasseraustausch zwischen einzelnen Druckzonen durch Druckreduzierventile wird im allgemeinen nicht gemessen.
- Die Zählerangaben müssen eingehend überprüft werden (es ist z.Bsp. möglich, dass ein Zähler während einer gewissen Zeit ausser Betrieb ist).
- Die öffentlichen Verbräuche werden nur teilweise gemessen.
- Die Einspeisung von Quellwasser wird zum Teil nicht gemessen,
- Der Elektrizitätsverbrauch wird oft nur gesamthaft für mehrere Apparate gemessen.
- Die Daten über die Schwankungen des Grundwasserspiegels werden nicht aufbereitet.

Aussagekraft und Zuverlässigkeit der Ergebnisse werden wesentlich erhöht, wenn Angaben über mehrere Jahre zur Verfügung stehen.

Wertvoll sind Daten, die anlässlich von Simulations- und Kalibrierungsberechnungen erhoben worden sind.

8.3 Energieindikatoren

Die Ergebnisse der Berechnung der Energieindikatoren sind in Tabelle 5 enthalten.

Der Strukturindikator kann besonders gross werden, wenn die Wasserversorgung sehr energieintensiv ist (Sagno). Er wird sehr klein oder negativ wenn ein Elektrizitätsrückgewinnungspotential vorliegt

Wasserversorgung	E_{min} (1000 kWh)	Strukturindi- kator I1 (kWh/ m3)	Quaiitätsindi- kator I2	Wasserver- verkauf Q_V (1000 m3)	Elektr.ver- brauch E (1000 kWh)
Massagno-Lugano,	911	0.19	3.47	4911	3353
Castagnola-Aldesago-Br&	305	0.31	2.56	975	791
Sagno	13	0.73	3.2	18	43
Acquedotto ind. Lugano	677	0.17	1.6	3869	1077
St. Morikinsgesamt	-140	-0.09	4.27	1477	557
St. Moritz, Dorf-Bad	72	0.06	4.47	1176	494
Diepoldsau	67	0.18	4.2	369	282

Tab. 5 Werte der Energieindikatoren bei den untersuchten Beispielen

Für das gesamte Wasserversorgungsnetz von St. Moritz ist E_{min} negativ. Dies deutet auf beträchtliche vorhandene Möglichkeiten zur Elektrizitätsrückgewinnung, welche nicht genutzt werden.

Tabelle 6 zeigt die Werte der Einflussfaktoren bei den einzelnen Beispielen, welche die Variation des Qualitätsindikators I2 weitgehend erklären.

Wasserversorgung	Pumpenwirkungs- grad η	Wasserverluste in % pv	$h_d - h_s$
Massagno-Lugano	zwischen 0.6 und 0.7	20%	in einer Zone > 140m
Castagnola-Aldesago-Bré	zwischen 0.5 und 0.65	11 %	gut
s a g n o	zwischen 0.5 und 0.55	43 %	zum Teil hoch
Acquedotto ind. Lugano	unbekannt	unbekannt	sehr niedrig
St. Morik insgesamt	etwas mehr als 0.5	34 %	zum Teil hoch
St. Moritz Dorf-Bad-	etwas mehr als 0.5	29 %	hoch > 130m
Diepoldsau	niedrig < 0.45	so %	gut

Tab. 6: Beurteilung der Einflussfaktoren der untersuchten Beispiele.

Die Daten der Tabellen 5 und 6 zeigen, dass schon das Zusammenwirken von zwei ungünstigen Faktoren einen Qualitätsindikator grösser als 4 zur Folge haben. Wie zum Beispiel bei der Wasserversorgung von Diepoldsau, deren Wasserverluste (plus die nicht verrechneten Wasserabgaben) 50 % des Wasserverkaufes betragen und deren Pumpwerke einen niedrigen Wirkungsgrad aufweisen.

St. Moritz Dorf-Bad hat den schlechtesten Indikatorwert der untersuchten Beispiele. Dies ist hauptsächlich auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich die belieferte Druckzone auf ein Gebiet mit einem grossen Höhenunterschied erstreckt.

Der Qualitätsindikator 12 wiedergibt sehr gut die technische Qualität (aus der Sicht des Energiesparens) einer Wasserversorgung. Wie Tabelle 5 zeigt, erreicht er bei der industriellen Wasserversorgung von Lugano einen besonders tiefen Wert. Dies lässt sich aus der Tatsache erklä-

ren, dass der benötigte Betriebsdruck wesentlich tiefer liegt als bei einer normalen Wasserversorgung (für Trink- und Löschwasser). Bei diesem Beispiel wurde auch angenommen, dass die Verluste 0 sind, was wahrscheinlich nicht ganz stimmt Für Systeme, welche ein Siedlungsgebiet mit Trink- und Löschwasser versorgen, lässt sich der Qualitätsindikator anhand der folgenden Tabelle bewerten.

Qualitätsindikator 12	Bewertung
unter 2	sehr gut
2 - 2.5	gut
2.5 - 3.0	ziemlich gut
3.0 - 4.0	zu verbessern
über 4.0	entscheidend zu verbessern

8.4 Verbesserung des Energy-Management

Energiesparen

Die Untersuchung der Beispiele hat gezeigt, dass alle in Kapitel 2 besprochenen Beeinflussungsfaktoren bei der Verminderung des Energieverbrauches von Bedeutung sein können. Erwähnen sei die Fassung neuer Quellen, die nicht nur den Energieverbrauch stark reduziert, sondern **finanziell** auch rentabel sein kann (Beispiel Sagno). Wie zu erwarten war, spielt die Sanierung der Leitungsnetze eine zentrale Rolle. Sie dient nicht nur der Verminderung von Wasserverlusten, sondern auch der Erhöhung der Versorgungssicherheit sowie der Gewährleistung der Brandbekämpfung (Sagno).

Die Lage (Kote) des Reservoirs ist für die energetische Qualität einer Wasserversorgung von grosser Bedeutung (vgl. Beispiele Lugano-Massagno, Sagno, St. Moritz Dorf-Bad). Diesem Parameter muss bei der Planung von konzeptionellen Änderungen grosse Beachtung geschenkt werden.

Zu grosse Höhenunterschiede können in vielen Fällen mit einer Zweiteilung von Druckzonen vermieden werden. Die untere Zone wird danach direkt mit Pumpen versorgt. In Notfällen kann sie noch vom Reservoir aus gespeist werden.

Mit dem Einsatz von drehzahlgeregelten Pumpen lassen sich möglicherweise Energieeinsparungen erzielen. Im Rahmen der untersuchten Beispiele sind folgende Fälle aufgetreten:

- Abkoppelung eines zu hoch gelegenen Reservoirs von einer Druckzone und direkte Speisung derselben mit drehzahlgeregelten Pumpen (Zona Alta in Lugano, St Moritz Dorf-Bad).
- Fördern von Wasser aus einer stark variierenden Wasserspiegellhöhe (Grundwasserbrunnen Manno II).
- direkte Netzeinspeisung ohne Reservoir (industrielle Wasserversorgung Lugano, Diepoldsau).

Der Wirkungsgrad von auf dem Markt erhältlichen energiesparenden Förderaggregaten liegt zum Teil wesentlich höher als jener der Pumpwerke in den untersuchten Beispielen.

Energierückgewinnung

Es muss immer geprüft werden, ob eine Energierückgewinnung finanziell interessant ist. Bei den untersuchten Beispielen ist eine solche Rückgewinnung in folgenden Fällen denkbar:

- Bei der Verbindungsleitung zwischen dem Reservoir Gemmo und dem Druckreduzierventil St. Anna (Lugano)

- Beim Reservoir Cavalorgna in Sagno, falls die neuen zu fassenden Quellen genügend ergiebig sind.
- Bei den Verbindungsleitungen der Quellen Alp Giop und Alp Nova zu den Reservoirs der Wasserversorgung von St. Moritz.

Im Rahmen der Programme PACER und DIANE hat der Bund mehrere Untersuchungen finanziert über die Möglichkeit durch Kleinshvasserkraftwerke Elektrizität aus von Wasserversorgungen genutztem Quellwasser zu gewinnen.

Dem interessierten Leser seien u.a. die Publikationen (27), (28) und (29) sowie die Broschüre (30) empfohlen.

Verschiebung des Energieverbrauches in die Nachtperiode

Obwohl die Nutzung des totalen Speichervolumens eines Reservoirs durch Füllung während der Nacht energieintensiver ist (vgl. Kapitel 4.4) als die Förderung tagüber, kann sie wesentliche finanzielle Vorteile mit sich bringen.

Im Falle von Lugano fördern die Pumpstationen Manno II und Bioggio nicht direkt ins Netz, sondern zu den Reservoirs Gemmo und Massagno. Infolge einer abnehmenden Tendenz beim Wasserverbrauch sind heute die Kapazitäten der Reservoirs und Reservoirzuleitungen relativ gross bemessen. Diese Tatsache erlaubt, die Reservoirs nachts zu füllen und damit den Hauptteil des Energieverbrauches in die Nachtperiode zu verschieben.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Ein hoher Wert des Qualitätsindikators bedeutet noch nicht, dass sich Energiesparmassnahmen realisieren lassen. Eine Wasserversorgung kann wenig Energie verbrauchen aber einen hohen Qualitätsindikator aufweisen. Der Qualitätsindikator zeigt lediglich, ob die verbrauchte Energie gut eingesetzt wird oder nicht. Er steht aber in keinem Zusammenhang mit der Menge der verbrauchten Energie, deren $ii \sim$ besser mit dem Strukturindikator wiedergegeben wird. Bei der Zone Dorf-Bad von St. Moritz zum Beispiel ist der Qualitätsindikator hoch, die verbrauchte Elektrizitätsmenge aber relativ niedrig ($ii = 0.36 \text{ Wh/m}^3$). Es ist deswegen fraglich, ob sich in dieser Zone in kurzer Zeit Energieeinsparungen realisieren lassen werden.

Ob eine Elektrizitätseinsparung oder -rückgewinnung wirtschaftlich denkbar ist, hängt massgebend von den folgenden zwei Faktoren ab:

- Höhe der notwendigen Investitionen,
- Menge der einzusparenden Elektrizität.

Die Grobanalyse einer Wasserversorgung beschränkt sich darauf, Möglichkeiten der Energieeinsparungen bzw. -rückgewinnung aufzudecken. In einer nachfolgenden Feinanalyse müssen die wirtschaftlichen Aspekte der möglichen Massnahmen detailliert untersucht werden.

8.5 Analyseverfahren

Wenn in einer Wasserversorgung überprüft werden soll, ob Möglichkeiten zum Energieparen oder zur Elektrizitätsrückgewinnung bestehen, müssen zuerst die zwei Indikatoren 11 (Strukturindikator) und 12 (Qualitätsindikator) für das ganze versorgte Gebiet sowie für die einzelnen Druckzonen berechnet werden.

Ist der Strukturindikator für eine einzelne Druckzone oder sogar für das ganze Gebiet negativ, dann sollte abgeklärt werden, ob eine Elektrizitätsrückgewinnung in Frage kommt.

Ist der Qualitätsindikator in einzelnen Druckzonen grösser als 3, so muss überprüft werden, ob Energieeinsparungen möglich sind. Dabei wird folgendermassen vorgegangen:

- Falls Rohwasser in Hochlage vorliegt, abklären, ob Restwasser mit Vorteil an andere Gemeinden verkauft werden kann:
- Wenn Rohwasser aus Grundwasser oder aus Oberflächengewässern gewonnen wird, prüfen ob Quellen in Hochlage vorhanden sind und wirtschaftlich erschlossen werden können.
- Wenn Wasser gefördert wird, folgen& Analysen vornehmen:
 - Wirkungsgrade der Förderaggregate bestimmen. Bei zu tiefen Werten abklären, ob eine Heberholung angezeigt ist oder sogar der Ersatz durch ein modernes Fördergerät in Frage kommt.
 - Dynamischen Druckabfall in den Förderleitungen bestimmen. Ist er zu gross, untersuchen, ob der Ersatz einer Leihmg oder eines Abschnittes nötig ist.
 - Wasserverluste für die einzelnen Druckzonen als Differenz zwischen verkauften und eingespeisten Mengen bestimmen. Sind die dazu benötigten Daten nicht verfügbar, den Nachtverbrauch messen oder messen lassen. Sind in einzelnen Druckzonen die Verluste zu gross (mehr als 15 %) sollten zuerst die Gründe dafür abgeklärt und danach die notwendigen Massnahmen getroffen werden (Lecksuche und Leitungsreparatur, Ersatz von Leitungen im schlechten Zustand, Verbesserung der Korrosionvorbeugemassnahmen, Rohwasserbehandlung usw.)
 - Betriebsdruck überprüfen. Ist der Druck in einer bestimmten Zone zu hoch, untersuchen, ob mit geeigneten Massnahmen eine Teilung der Druckzone möglich wäre, um den Druck zu reduzieren.

Neben dem Spaten von Energie ist, wie schon erwähnt, die Verschiebung des Elektrizitätsverbrauches in die Nachtperiode von Bedeutung. Dies ist nur bei ausreichender Reservoirkapazität möglich. Wirtschaftlich kann eine solche Verschiebung interessant sein, wenn es der Wasserversorgung gelingt, mit ihrem Elektrizitätslieferant einen Liefervertrag mit günstigen Nachtтарifen (besonders im Sommer) abzuschliessen. In der Regel erfordert eine solche Verschiebung gewisse Investitionen (zumindestens für den Einbau von Messgeräten und Steuerungsanlagen) die amortisiert werden müssen.

9. REFERENZEN

- 1 Aziende industriali della città di Lugano: "Rapporto tecnico amministrativo 1992", Lugano, 1993.
- 2 Ingenieurbüro K. Lienhard AG: "Technischer Bericht zur Rohrnetzberechnung der Wasserversorgung von Lugano-Massagno", Buchs-Aarau, 1986.
- 3 Ingenieurbüro K. Lienhard AG: "Rohrnetzberechnung Castagnola und Bré", Buchs, 1993.
- 4 Dipartimento delle finanze del Canton Ticino: "Direttive per i comuni concementi le infrastrutture necessarie alla lotta contro gli incendi", Bellinzona, 1989.
- 5 Roveti "11 nuovo acquedotto comunale di Castagnola e Viganello", Comune di Castagnola.
- 6 Mackay und M.L:Adams, Franklin Institute Research Laboratories, Power, Juli 1971, S. 60/61
- 7 SVGW: "Empfehlungen betreffend Datenerfassung und -auswertung bei mittleren Wasserversorgungen, Zürich, 1979
- 8 Reichert, RE, Neubauer, H. Reiche, F.W. Berg: "Elektrische Antriebe", RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1993.
- 9 SVGW: "Statistische Erhebungen der Wasserversorgungen in der Schweiz", Zurich, 1992.
- 10 Grombach, Haberer, Merkl und Trüb: "Handbuch der Wasserversorgungstechnik", Oldenbourg Verlag, München, 1933
- 11 Lobanoff und RR Ross: "Centrifugal Pumps", Gulf Publishing Company, Houston, 1992.
- 12 Wagner: "Kreiselpumpen und Kreiselpumpenanlagen". Vogel Buchverlag, Würzburg, 1994.
- 13 Balte O.G.: Senkung der Wasserverluste in öffentlichen Versorgungen und Industrieanlagen. Expert Verlag, Ehningen, 1987.
- 14 Hoch W.: Früherkennung von Leckstellen in Wasserrohrnetzen_ Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft_ Oldenbourg, 1987.
- 15 WAR: Wasserverteilung und Wasserverluste. Verein zur Förderung des Instituts für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung TH Darmstadt_ Darmstadt 1985.
- 16 Weimer D.: Lecksuche und Ortung in Wasserverteilnetzen. Technische Werke der Stadt Stuttgart AG.
- 17 Weimer D.: Leakage Control. Water Supply. Vol. 10, N. 1, S. 169-176, 1992.
- 18 L. Legrand.und P. Leroy: Prevention of corrosion and scaling in water supply Systems. Ellis Horwood, Chicester, England, 1990.
- 19 F. E. Tanner und R. O. Müller: Streustrom, Korrosion. Gas - Wasser - Abwasser, Vol. 70, Nr. 8,1990, Zurich.
- 20 C. Skarda: Aussenkorrosion uns Wasserrohrnetzerhaltung. Gas - Wasser - Abwasser, Sonderdruck.
- 21 SGK Richtlinien zum Korrosionsschutz von erdverlegten metallischen Anlagen_ Gas - Wasser- Abwasser, Vol. 73, Nr. 10,1993, Zurich.
- 22 D.G. Shore: Economic optimization of distribution leakage control. Journal of the Institution of Water and Environment Management_ Vol 2, Nr. 5, 1988.
- 23 M. Fuchsloch: Ermittlung der Wasserverluste: Hydraulische Methode. In "Wasserverluste" SVGW, A.G.H.T.M, Paris, 1981.
- 24 W.F. Ridley: Progress in Leakage Control. Technical Papers IWSA Congress, Zürich, 1982, Special subject, SS 16.
- 25 H. Schwarze: Rechnergestütztes Messsystem zur automatisierten Rohrnetzüberwachung und Lecksuche_ Technisches Messen, Vol. 55, Heft 7/8, S.279,1988.
- 26 F. Geering: Generationenwechsel bei den Steuerungs- und Ueberwachungssystemen der Wasserversorgung Zürich, gwa, 2,1992, Zurich.

- 27 J.-M. Chapallaz: Elektrizität aus Trinkwasser-Systemen. JMC Engeenetig, 1993. Ste-Croix,
- 28 J.-M. Chapallaz und P. Eichenberger: Kleinstwasserkraftwerke. Bundesamt für Konjunkturfragen, 1993, Bern.
- 29 M. Hintermann: Elektrizität aus Trinkwasser-Systemen. BEW, 1994, Bern.
- 30 J.-M. Chapallaz: Kleinstwasserkraftwerke. Bundesamt für Konjunkturfragen, 1993, Bern.

ANHANG 1

AIL Sezione Acqua

SERBATOI Lugano , Castagnola ,Bre`

UBICAZIONE	ALTEZZA troppo pieno m.s.m.	SUPERFICIE			VOLUME			TOTALE mc	ANNO COSTRUZIONE	Inserimento pompe dal T.P. - cm	
		vasca1 mq	vasca2 mq	vasca3 mq	vasca1 mc	vasca2 mc	vasca3 mc				
MASSAGNO	393	410	288	742	1800	700	3500	6000	1906 \ 1930	50	2)
SAN ROCCO	541	226.6	500		1000	2800		3800	1967 \ 1986	180	
RONCHETTO	370	229.72	19.62		2000	130		2130	1964	400	
GEMMO	370	415.9	397.35		2500	2400		4900	1980	100	
SUVIGLIANA	352.4	151.7	87.62		1050	350		1400	1951 \ 1936	70	
SOTTO CHIESA	352.4	20.41			150			150			
ROCCOLO	435	74.62	74.62		250	300		550	1936 \ 1953	60	
TANELLO	435	20.41			150			150	1937		
ALDESAGO SOTTO 1)	513.95	31.10\35.62	30.10\36.17	55.98\59.42	100	100	180	380		60	2) 3)
FRASSINI	513.95	72			350			350	1972		
ALDESAGO SOPRA	611.28	17.66			50			50		60	
BRE VETTA	927	49.62			200			200	1951	60	
BRE PAESE	856.8	20.9	20.9		50	50		100		20	2)
MATTERONE	910.4	36	36		100	100		200	1992		4)

Osservazioni :

- 1) vasche a forma di tronco di piramide
- 2) arrivo sorgenti
- 3) scarico T.P. al serbatoio Roccolo
- 4) livello adeguato ai consumi

Wasserversorgungen von Lugano - Massagno und
Cassarate - Castagnola - Aldesago - Brè
Merkmale der Wasserreservoir

Lugano, il 28.10.94

ANHANG 2

STAZIONE	Pompa No	pompa	POMPA	TYP	Nr.Ord.	Q m3/h	L / sec	Hm	MOTORE	Kw	Ch
Manno 2	1		Sulzer	BPS 22 1/2 2 ST	3-440-8074		200	22		63	
Manno 2	2		Sulzer	BPS 22 1/2 2 ST	-8511		200	22		63	
Manno 2	3		Sulzer	BPS 30 - 1 STF	3-466-0094		400	22.3		132	
Manno 2		sommersa	Sulzer	BUE 4-405/18-2/1,5	-6026	6-12-4,32		51-69		1.5	
Filtri Bioggio	1	Massagno	Sulzer	BPK 35-4 STF 5896	3-466-0160		200	114		315	
Filtri Bioggio	2	Massagno	Sulzer	BPK 35-4 STF 5897	3-466-0160		200	114		315	
Filtri Bioggio	3	Massagno	Sulzer	BPK 35-4 STF 5898	3-466-0160		200	114		315	
Filtri Bioggio	2	Gemmo	Sulzer	BPK 35-4 ST 5899 W	3-466 0190		227	99		315	
Filtri Bioggio	3	Gemmo	Sulzer	BPK 35-4 ST 5900 W	3-466 0190		227	99		315	
Filtri Bioggio	1	lavaggio	Sulzer	BPS 20- / STF 5894	3.466.0161		150	7.9		18.5	
Filtri Bioggio	2	lavaggio	Sulzer	BPS 20- / STF 5895	3.466.0161		150	7.9		18.5	
Filtri Bioggio	1	soffiante	RKR	K 101 RZH	93 01 507					35	
Filtri Massagno	1	San Rocco	Sulzer	HPL 37-20 5 Stuf	402.1187		113	155			330
Filtri Massagno	2	San Rocco	Sulzer	HPL 37-20 5 Stuf	402.1187		113	155			330
Filtri Massagno	3	San Rocco	Sulzer	HPL 37-20	3.444.8015		113	155		250	
Filtri Massagno	1	lavaggio	Sulzer	SP 25 25	3-420-6704		235	14			60
Filtri Massagno	2	lavaggio	Sulzer	SP 25 25	3-420-6704		235	14			60
Filtri Massagno	1	soffiante									75
Filtri Massagno	2	soffiante									75
Acqua industriale 1	1		Sulzer	HPL 24 12 1/2 3 ET	400 2187		25	38			20
Acqua industriale 1	2		Sulzer	HPL 24 12 1/2 3 ET	400 2187		25	38			20
Acqua industriale 1	3		Sulzer	42-20	420-4514		100	44.5			100
Acqua industriale 1	4		Sulzer	42-20	420-6340		100	44			100
Acqua industriale 1		idrovara	Sulzer	AWP 16 1/2 -2	420.4549		5	6.7		15/1	

Merkmale der Pumpenaggregate
Wasserversorgungen von Lugano - Massagno,
Cassarate - Castagnola - Aldesago - Brè
Acque industriali Lugano

Lugano, 24.10.94

STAZIONE	Pompa No	pompa	POMPA	TYP	Nr.Ord.	Q m3/h	L / sec	Hm	MOTORE	Kw	Ch
Acqua Industriale 2	1		Sulzer	HZ 202-7500	3-410-8047		200	60		185	
Acqua Industriale 2	2		Sulzer	HZ 202-7500	3-410-8047		200	60		185	
Acqua Industriale 2	3		Sulzer	HZ 202-7500	3-410-8047		200	60		185	
Acqua Industriale 2		idrovorora	Sulzer	AWP 16 1/2 -5	3-410-8049		6	5.8			5
Cassarate impianto consortile	1	acqua greggia	Sulzer	BPK 23-1 Mota 30	482.1009		57	11.6		20	15 SEV
Cassarate impianto consortile	2	acqua greggia	Sulzer	BPK 23-1 Mota 30	482.1009		57	11.6		20	15 SEV
Cassarate impianto consortile	3	acqua greggia	Sulzer	BPK 23-1 Mota 30	482.1009		57	11.6		20	15 SEV
Cassarate impianto consortile	4	acqua greggia	Sulzer	BPK -23- 1 Stuf.	3-410.9439	205		11.6		11	
Cassarate impianto consortile		soffiante	SLM. Winterthu	25037						21	50
Cassarate impianto consortile		lavaggio	Sulzer	S.P.22 1/2 -25 D	420.2164		180	10.5			40
Cassarate impianto consortile	1	vacum autoclave	Sulzer	LP. 12 - 2 1/2	400.1074						3
Cassarate impianto consortile	2	vacum autoclave	Sulzer	LP. 12 - 2 1/2	400.1074						3
Cassarate impianto consortile		idrovorora	Sulzer	AWP 18 1/2 -8	420.2165					3 (3,5	50 (60)
Cassarate impianto consortile	1	ozonatori	Sulzer	NP 16 1/2 -4 M	420.2621		2.35	20			2
Cassarate impianto consortile	2	ozonatori	Sulzer	NP 16 1/2 -4 M	420.2621		2.35	20			2
Cassarate impianto consortile	3	ozonatori	Sulzer	NP 16 1/2 -4 M	420.2621		2.35	20			2
Cassarate	1		Sulzer	HPL 28-15.30 4 Stuf.	3-410.9435	133.2		90		55	
Cassarate	2		Sulzer	HPL 28-15 4 Stuf	402.1156		37	89		33	65
Cassarate	3		Sulzer	HPL 37-20.20 3 Stuf	3-410.9435	252		95		110 S 1	
Cassarate	4		Sulzer	HPL 37-20.20 3Stuf	3-410.9435	252		95		110 S 1	
Cassarate	1	Vacum	Rietschle	CLFG 26 V (0,3)	930757	25		50		0.75	
Cassarate	2	Vacum	Rietschle	CLFG 26 V (0,3)	930756	25		50		0.75	
Cassarate		Idrovora	Sulzer	NCP 13 1/3-6	421662						2
Suvigliana	1		Sulzer	BA 242/49-7-1	3-492.0352	108		102		55	
Suvigliana	2		Sulzer	BA 242/49-7-2	3-492.0352	108		102		55	
Suvigliana		compressore aria	HAUG FRIZ AG	BO 45/25 D 2	35549	5.3				1.1	

STAZIONE	Pompa No	pompa	POMPA	TYP	Nr.Ord.	Q m3/h	L / sec	Hm	MOTORE	Kw	Ch
Roccolo	1		Sulzer	MB 80-3	3-492.0353/1	72		110		37	
Roccolo	2		Sulzer	MB 80-3	3-492.0353/2	72		110		37	
Roccolo	3		Sulzer	MB 80-3	3-492.0353/3	72		110		37	
Aldesago sotto	1	Bre	Sulzer (1 stadio	HCP 7 RI No 13-5	401099		5	450			54
			Sulzer (2 stadio	HCP 13-5 13 etages	401100		5	450			
Aldesago sotto	2	Bre	Sulzer (1 stadio	HCP 7 RI No 13-5	401099		5	450			54
			Sulzer (2 stadio	HCP 13-5 13 etages	401100		5	450			
Aldesago sotto	3	Aldesago paese	Sulzer	HCP 13-5 7 STD	3 410.8123		5	151		15	21
Aldesago sotto	4	Aldesago paese	Sulzer	HCP 13-5 7 STD	3 410.8123		5	151		15	21
Bre paese	1		Sulzer	MA 32 / 3 L u 2 D	3-492.0229	18		66		7.5	
										7.5	
Bre paese	2		Sulzer	MA 32 / 3 LU 2d	3-492.0229	18		66		7.5	
										7.5	

A N H A N G 3

1 Die industrielle Wasserversorgung von Lugano

1.1 Allgemeines

Diese Wasserversorgung beliefert Liegenschaften im Zentrum von Lugano (vgl. Fig. 20) mit Rohwasser (d.h. unbehandeltem Wasser). Das Wasser wird hauptsächlich für Kühlungszwecke während der Sommerperiode in Gebäuden des Dienstleistungssektors (Banken, Einkaufszentren u.a.) eingesetzt. Im Winter wird es vereinzelt für den Betrieb von Wärmepumpen gebraucht. Das Rohwasser wird an zwei Stellen aus dem See gewonnen und mit zwei Pumpstationen ins Netz gefordert (ohne Reservoir). Die Pumpen der zwei Stationen werden in Abhängigkeit der Nachfrage eingesetzt, zuerst jene des Pumpwerkes "Acqua industriale 1" und dann jene des Pumpwerkes "Acqua industriale 2". Die Förderhöhe der Pumpen ist relativ niedrig. Sie schwankt zwischen 3.8 bar (im Winter bei sehr kleinem Wasserverbrauch) und 6 bar (im Sommer). Die Charakteristiken der eingesetzten Pumpen sind im Anhang 2 angegeben.

1992 wurden insgesamt 3'869'000 m³ Wasser verrechnet, davon:

- im Winter 1'251'000 m³
- im Sommer 2'618'000 m³

Der Elektrizitätsverbrauch erreichte im Jahr 1'077'000 kWh, davon:

- im Winter 351'000 kWh
- im Sommer 726'000 kWh

1.2 Energetische Indikatoren

Die minimale Energie E_{\min} lautet wie üblich:

$$E_{\min} = E_{pv} - E_{pq} + E_{nd}$$

Mit den Kosten der Verbraucher und den von ihnen gekauften Wassermengen erhalten wir:

$$E_{pv} = 2'955'000 \text{ kWh}$$

Aus den Kosten der Gewinnungsstellen und der geforderten Menge ergibt sich:

$$E_{pq} = 2'923'000 \text{ kWh.}$$

Der virtuelle Betriebsdruck beträgt: $E_{nd} = 645'000 \text{ kWh}$

daraus resultiert:

$$E_{\min} = 677'000 \text{ kWh}$$

$$FE_{\min} = E_{\min}$$

Die Indikatoren berechnen sich wie folgt:

$$I1 = E_{\min} / QV = 677 / 3'869 = 0.17 \text{ kWh / m}^3$$

$$E = 1'077'000 \text{ kWh}$$

$$I2 = E / E_{\min} = 1'077 / 677 = 1.6$$

Die energetischen Indikatoren sind niedrig, weil der Druck im Netz, besonders im nördlichen Teil des Versorgungsgebietes wesentlich kleiner ist als in einem normalen Versorgungssystem für Trink- und Löschwasser.

1.3 Energiesparmassnahmen

Der durchschnittliche Wirkungsgrad der Pumpen lässt sich nicht genau bestimmen. Er erreicht im Winter höchstens 0.55 und im Sommer maximal 0.60. Für die Art der eingesetzten Pumpen ist er eigentlich zu niedrig. Dies ist hauptsächlich auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Fördermenge der einzelnen Pumpen relativ stark variiert, was eine entsprechende Verschlechterung des durchschnittlichen Wirkungsgrades zur Folge hat (vgl. Fig. 6). Eine wesentliche





Fig. 20 Die industrielle Wasserversorgung im Zentrum von Lugano

Verbesserung könnte wahrscheinlich mit dem Einsatz von drehzahlregulierbaren Pumpen und high efficiency Motoren erzielt werden. Dabei wären Einsparungen von mehr als 10% des Elektrizitätsverbrauches erreichbar.

2 Die Wasserversorgung von Sagno

2.1 Beschreibung

Die Gemeinde Sagno befindet sich im Bezirk Mendisiotto im südlichen Teil des Tessins. Sie liegt oberhalb Chiasso an der Grenze zu Italien. Das Gemeindegebiet ist hochgelegen (zwischen 600 und 900 m Ü.M.) und befindet sich am westlichen Hang des Bisbino Berges. Der Dorfkern ist relativ flach, das restliche Siedlungsgebiet liegt auf steilen Hängen (Fig. 21). Sagno hat heute 230 Einwohner und 9 Arbeitsplätze. Von 151 insgesamt vorhandenen Wohnungen sind 68 Zweitwohnungen.

Das in einem gemeinschaftlichen Grundwasserbrunnen gewonnene Rohwasser wird für die Bedürfnisse der Wasserversorgung von Sagno zuerst zum Reservoir Pezzola (Gemeindegebiet von Vacallo) hinaufgepumpt. Von da aus gelangt es in einem zweiten Schritt mit 215 m Höhenunterschied zum Reservoir Fontane (635 m Ü.M.) mit einem Fassungsvermögen von ca 30 m³. In dieses Reservoir wird auch das gefasste Quellwasser geführt,

Die Leitung vom Reservoir Pezzola zum Reservoir Fontane erlaubt eine Zuführung von 2.1-2.3 l/s, d.h. 180 - 200 m³ im Tag (bei einem vernünftigen Energieaufwand). Bei einer relativ niedrigen Wasserhöhe im Reservoir Fontane schalten die Pumpen im Reservoir Pezzola ab, um ein Überlaufen des Quellwassers so weit wie möglich zu verhindern.

Das Wasser vom Reservoir Fontane wird zum Reservoir Sagno gepumpt, dessen Fassungsvermögen 92 m³ beträgt. Die Transportkapazität der Zuleitung ist kleiner als jene der Zuleitung von Pezzola nach Fontane. Die Zuleitung von Sagno bis Cavalorgna ist gross kalibriert. Das Fassungsvermögen des Reservoirs Cavalorgna beträgt 30 m³. Aus unbekanntem Grund wurde es in zu hoher Lage gebaut. Um den Druck zu vermindern und die Wasserverluste zu reduzieren, wurden in den oberen Zonen (Zone 2 und 3) Reduzierventile eingebaut.

Das Leitungsnetz der Gemeinde ist in 4 Druckzonen eingeteilt, wovon die ersten drei direkt vom Pumpwerk Sagno oder vom Reservoir Cavalorgna versorgt werden. Die Verbraucher der Zone 1 sind direkt an die Zuleitung Sagno-Cavalorgna angeschlossen. Mit dieser Zuleitung wird das Wasser vom Reservoir Sagno zum Reservoir Cavalorgna gepumpt. Da der Höhenunterschied zwischen diesen zwei Reservoirs 120 m beträgt, sind die statischen Drucke bei den Verbrauchern der Zone 1 entsprechend hoch (12 - 14 bar). Der Betriebsdruck der **Zone 2** (westlicher Oberteil) wird durch ein Druckreduzierventil bei der Abzweigung von der Zuleitung Sagno-Cavalorgna bestimmt. Der statische Druck im Netz variiert zwischen 7.5 und 3.6 bar. Ähnliches gilt für die Zone 3 (östlicher Oberteil), deren Druck von einem zweiten Reduzierventil bei der östlichen Abzweigung von der erwähnten Zuleitung bestimmt wird. Die Zone 4 bedient den unteren und grössten Teil des Dorfes. Sie wird vom Reservoir Sagno gespeist.

2.2 Rohwassergewinnung

In der nachfolgenden Tabelle ist die Entwicklung der Wasserentnahmen aus Quell- und Grundwasser angegeben.

Jahr	Grundwasser	Quellwasser
1988	14'698	8'462
1989	20'597	4'378
1990	17'982	8'058
1991	34'891	7'080
1992	15'442	10'728
1993	20'555	8'213

Tab. 6 Wasserbedarf der Wasserversorgung von Sagno (in m³)

Wie aus der vorangehenden Tabelle hervorgeht, variiert der Anteil des Quellwassers stark. Hier soll noch untersucht werden, ob die Schwankungen durch unregelmässige Ergiebigkeit der Quellen verursacht werden oder ob ein Teil des Quellwassers im Überlauf verloren geht. Das Reservoir Fontane, in welchem das Quellwasser gesammelt wird, ist nämlich relativ klein. Die hohe Grundwasserentnahme im Jahre 1991 ist auf grosse Wasserverluste im Leitungsnetz zurückzuführen.

Auf dem Gemeindegebiet befinden sich noch weitere hochgelegene Quellen, die nicht gefasst sind und deren Ergiebigkeit unbekannt ist.

Das Wasser ist von ausgezeichneter Qualität. Im Innern der Leitungsrohre sind weder Korrosionserscheinungen noch Ablagerungen festzustellen.

Wenn das Jahr 1992 als Referenzjahr genommen wird, beträgt der durchschnittliche tägliche Wasserbedarf der Gemeinde 72 m³. Der Höchstbedarf sollte 125 m³ nicht überschreiten. Dies unter der Annahme, dass das Leitungsnetz verbessert und unter Kontrolle gehalten wird (im Jahre 1991 wurde, bedingt durch Leitungsbrüche, ein durchschnittlicher Tagesbedarf von 115 m³ erreicht!).

2.3 Wassernutzung und Verluste

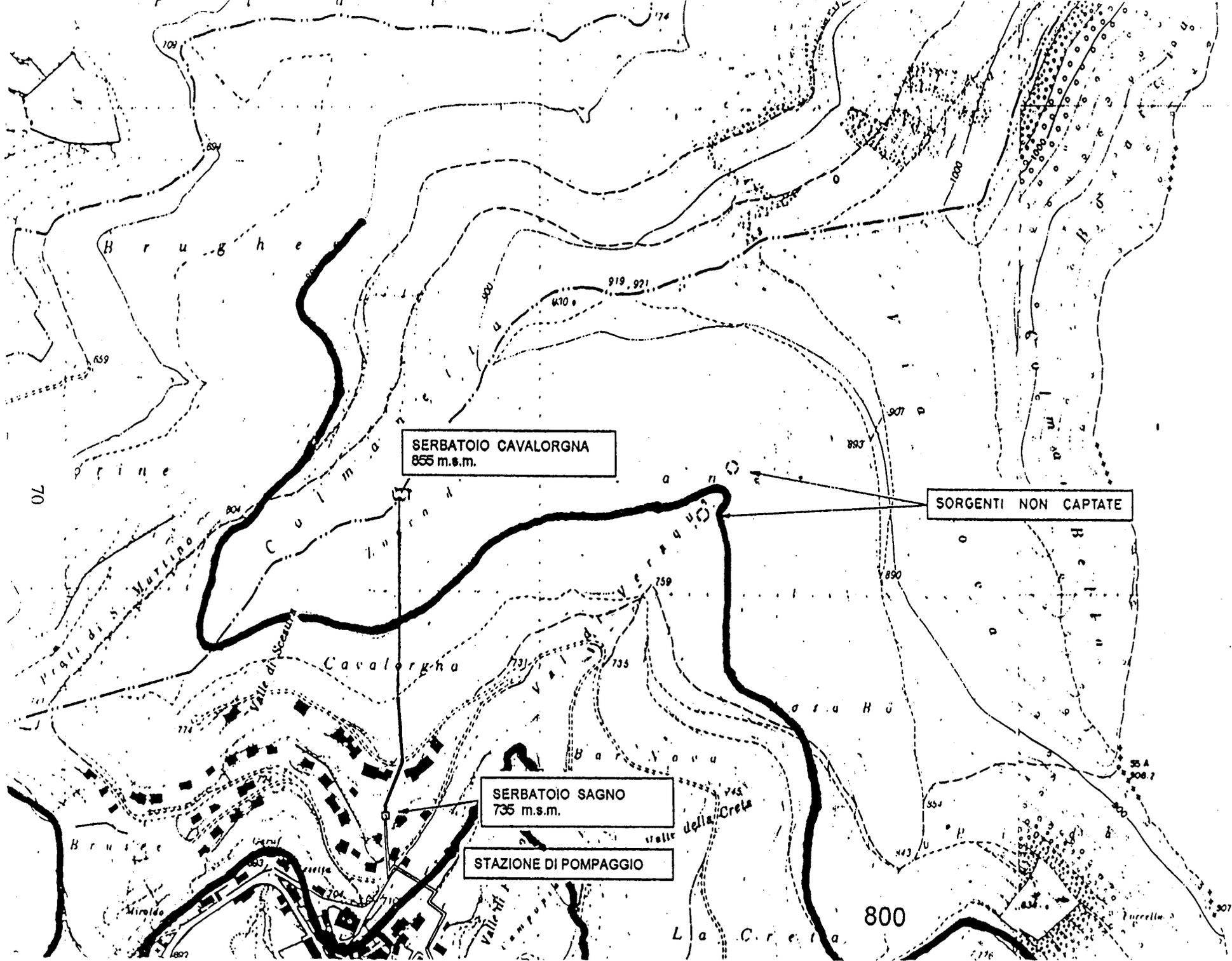
Als Wassernutzung bezeichnen wir die Wassermenge, welche die Verbraucher erreicht und von ihnen genutzt wird.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Entwicklung der genutzten Wassermengen sowie der Verluste:

Jahr	Unterteil des Dorfes		Oberteil des Dorfes	
	Nutzwasser	Verluste	Nutzwasser	Verluste
1988	12'402	2'157	6'235	2'366
1989	11'403	2'528	7'336	3'708
1990	11'590	2'265	6'259	5'926
1991	12'634	12'147	6'307	10'883
1992	11'855	3'264	6'508	4'543
1993	11'439	5'313	6'952	5'476

Tab. 7 Entwicklung der genutzten Wassermengen und der Wasserverluste in der Wasserversorgung der Gemeinde Sagno (in m³)

Wie Tabelle 7 zeigt, blieb die Wassernutzung über die betrachtete Zeitperiode annähernd konstant. Die Verluste im oberen Teil des Leitungsnetzes sind ständig gestiegen, bis sie 1991 grösser als der Verbrauch waren. Mit Hilfe einer umfangreichen Lecksuche wurden sie 1992 auf ein erträgliches Mass reduziert. Ein Jahr später sind sie aber wieder beträchtlich gestiegen. Beson-



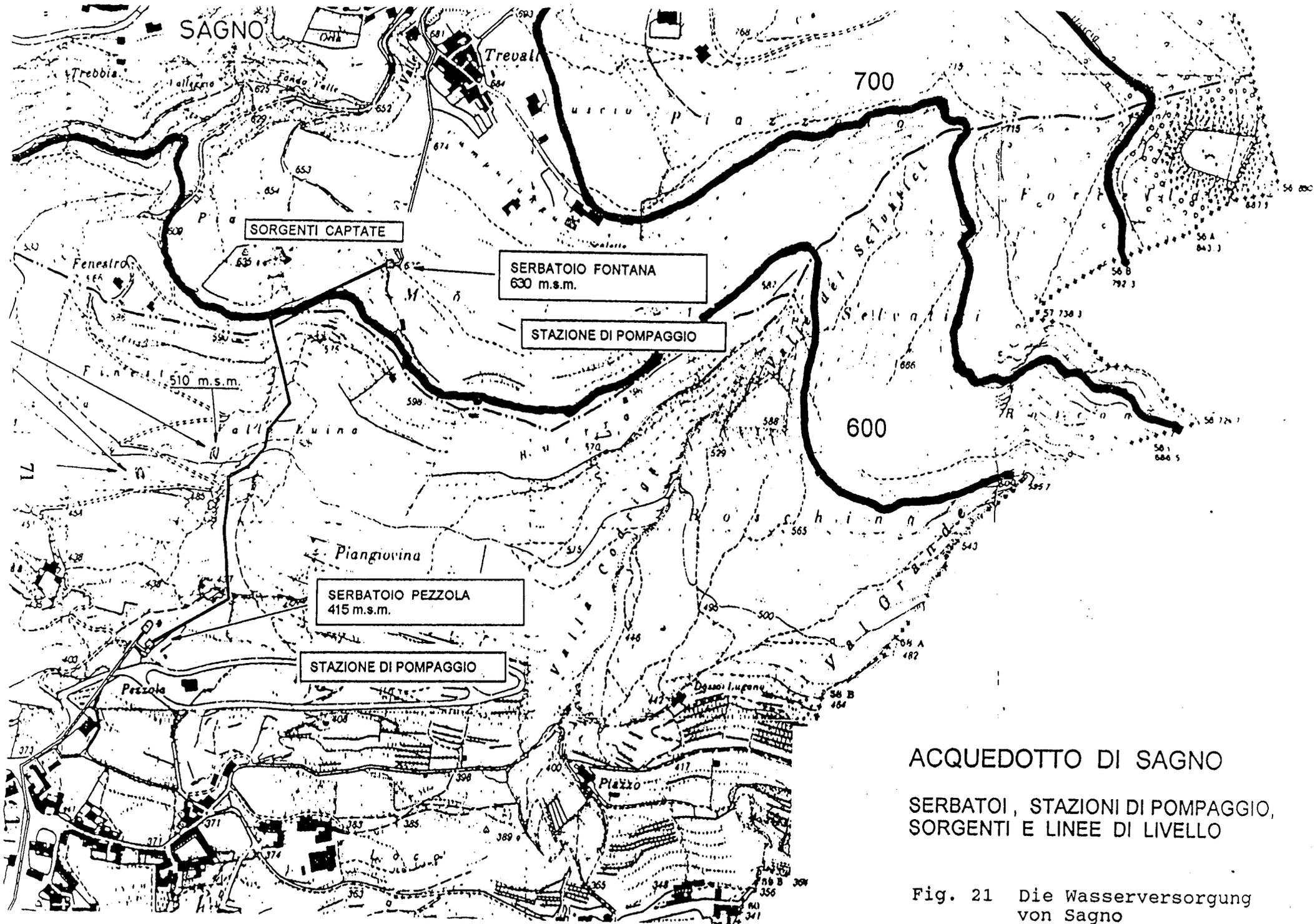
SERBATOIO CAVALORGNA
855 m.s.m.

SORGENTI NON CAPTATE

SERBATOIO SAGNO
735 m.s.m.

STAZIONE DI POMPAGGIO

800



ACQUEDOTTO DI SAGNO

SERBATOI, STAZIONI DI POMPAGGIO,
SORGENTI E LINEE DI LIVELLO

Fig. 21 Die Wasserversorgung
von Sarno

ders problematisch ist das Leitungsnetz im oberen Teil des Dorfes, wo die Verluste 1993 nahezu 80 % des Verbrauches erreichten.

2.4 Elektrizitätsverbrauch

Das Pumpwerk von Vacallo bezieht den Strom vom Elektrizitätswerk Chiasso. Die Pumpwerke von Fontane und Sagno werden dagegen vom Elektrizitätswerk Lugano mit Strom beliefert. Nur der Vertrag für das Pumpwerk von Sagno sieht unterschiedliche Stromtarife für Tag und Nacht vor.

Gemäss den Angaben der einzelnen Elektrizitätswerke haben die 3 Stationen 1992 folgenden Verbrauch gehabt:

Pumpwerk Pezzola	15'482 kWh
Fontane	20'213 kWh
Sagno	7'469 kWh

Für den Elektrizitätsverbrauch des Pumpenwerkes Pezzola lagen uns Angaben von der Gemeinde und vom Elektrizitätswerk vor, die wesentlich voneinander abwichen.

2.5 Energieindikatoren

Sagno wies im Jahre 1992 folgende Daten auf:

- Elektrizitätsverbrauch $E = 43'164$ kWh
- Genutzte Wassermenge $QV = 18'363$ m³

Die Berechnung von E_{min} lautet:

Potentielle Energie (gegenüber dem Meeresspiegel) der genutzten jährlichen Wassermenge bei den Verbrauchern (E_{pv}):

Dorf Oberenteil: $13.5 \cdot 10^3$ kWh

Dorf Unterteil $22.4 \cdot 10^3$ kWh

$E_{pv} = 35.9 \cdot 10^3$ kWh

Energie für die Gewährleistung eines genügend hohen Betriebsdruckes:

$E_{nd} = 3.1 \cdot 10^3$ kWh

Wasserverluste p_v (in % der genutzten Wassermengen): 43%

Potentielle Energie der von den Verbrauchern genutzten Wassermenge bei der Wasserentnahme (E_{pq}):

Reservoir Pezzola: $12.4 \cdot 10^3$ kWh

Wasserquellen $13.1 \cdot 10^3$ kWh

$E_{pq} = 25.6 \cdot 10^3$ kWh

$E_{min} = 13.4 \cdot 10^3$ kWh

$FE_{min} = E_{min}$

Daraus ergeben sich folgende Indikatorenwerte

$I1 = E_{min} / QV = 0.73$ kWh / m³

$I2 = E / FE_{min} = 3.2$

Bei der Berechnung dieser zwei Indikatoren haben wir nicht berücksichtigt, dass das Grundwasser von der Fassung bis zum Reservoir Pezzola gepumpt werden muss (wir kennen die dabei benötigte Energie nicht, weil die Gemeinde Sagno das Trinkwasser von der Gemeinde Vacallo ab Reservoir Pezzola kauft). Unter Berücksichtigung dieser Pumpenergie wären die berechneten Indikatoren wesentlich höher ausgefallen.

Der Wert des Indikators 11 ist sehr hoch. Dies ist in erster Linie auf die sehr grosse Höhendifferenz zwischen dem Reservoir Pezzola und den Reservoiren Sagno und Cavalorgna zurückzuführen. Bedingt durch die hohen Verluste, die Pumpenwirkungsgrade und die Höhe des Reservoirs Cavalorgna ist auch 12 relativ hoch.

2.6 Energiesparmassnahmen

Wasserquellen

Tabelle 5 zeigt, dass die Wasserquellen beim Reservoir Fontane nicht sehr ergiebig sind. 1992 war in dieser Beziehung ein Ausnahmejahr.

Sagno bezahlt für das Wasser ab Reservoir Pezzola 0.55 Fr/m³. Die Energiekosten für den Wassertransport sind auch beträchtlich. Um Energie- und Wasserkosten zu senken, soll daher zuerst abgeklärt werden, inwieweit die Erschliessung der noch nicht erfassten Quellen möglich und finanziell interessant ist

Leitungsnetz

Das Leitungsnetz im Oberteil des Dorfes wurde vor 30-40 Jahren zum Teil von den angrenzenden Eigentümern gebaut, wobei einzelne Leitungen durch Privatpanellen führen, zum Teil unter Bauten und Stützmauern durch. Sie sind nicht verankert und gegenüber Bodenbewegungen, wie sie besonders in steilen Hangpartien öfters auftreten, wenig geschützt. Der schlechte Zustand des Leitungsnetzes hat auch 1994 in diesem Dorfteil zu Leitungsbrüchen und Unterbrechungen der Wasserversorgung geführt.

Als kurzfristige Massnahme ist eine bessere Überwachung des Wasserverbrauches zu empfehlen (Ablese der Zähler mindestens jede Woche), sodass grössere Verluste schnell entdeckt und behoben werden können. Mittelfristig muss der Oberteil des Netzes gründlich saniert werden, dies nicht nur aus Gründen der Versorgungssicherheit oder des Energiesparens, sondern auch weil das heutige Leitungssystem die Anforderungen der Brandbekämpfung nicht mehr erfüllt

Kurz- bis mittelfristig sollte auch die Druckzone 1 mit einem Reduzierventil geschützt werden.

Reservoirs

Die Kapazität der Reservoirs ist für den heutigen Betrieb ausreichend. Erweist sich die Fassung der Quellen oberhalb des Dorfes als finanziell interessant, so muss das Fassungsvermögen des Reservoirs Cavalorgna erhöht werden.

Der Anreiz zur Verlegung des Pumpenbetriebes in die Nacht ist heute klein, da lediglich der Vertrag für das Pumpwerk Sagno einen Preisunterschied zwischen Tag- und Nachtbetrieb vorsieht (die Elektrizität ist nachts ein Viertel billiger als tagsüber). Es sollten daher Verhandlungen mit den zuständigen Elektrizitätswerken geführt werden, um mindestens im Sommer einen günstigeren Nachttarif zu erhalten.

Zuleitungen

Ein Teil der Leitung vom Reservoir Fontane zum Reservoir Sagno ist heute zu alt und ihr Durchmesser zu knapp. Ihr Ersatz würde die dynamischen Druckverluste vermindern und somit den Energieverbrauch senken. Zudem könnte dadurch die Fördermenge erhöht werden, was die Umstellung der Pumpen auf einen vermehrten Nachtbetrieb erleichtern würde.

Pumpenaggregate

Im Pumpwerk Sagno arbeiten alternierend zwei Pumpen mit einer Förderkapazität von 4.5 l/s. Die eine Pumpe ist 30, die andere 20 Jahre alt. Beide Pumpaggregate sind Sulzer-Produkte. Der ältere Motor wurde von der Maschinenfabrik Örlikon fabriziert, der Neuere von BBC. Mittels Ableseungen der Wasser- und Elektrizitätszähler wurde der durchschnittliche Wirku-

Wirkungsgrad beider Linien bestimmt, der 0.56 beträgt. Die dynamischen Verluste der Zuleitung Sagno-Cavalorgna sind klein.

Die Pumpen vom Werk Fontane (altemietend arbeitend) sind in der Lage ca. 2,2 l/s zu fördern. Beide Motoren sind Produkte der Maschinenfabrik Örlikon. Die Pumpen sind Sulzer-Produkte. Die eine ist 30 und die andere 40 Jahre alt. Ihr durchschnittlicher Wirkungsgrad beträgt ca. 0.5. Die dynamischen Verluste der Zuleitung Fontane-Sagno liegen mit 1.5 bar relativ hoch, da diese Zuleitung 60 Jahre alt und unterdimensioniert ist.

Die Förderaggregate des Pumpwerkes Pezzola sind etwas weniger als 40 Jahre alt. Der Wirkungsgrad beträgt auch hier 0.5.

Die Berechnung der Wirkungsgrade stützt sich auf die Daten der bei den einzelnen Pumpwerken installierten Wasser- und Elektrizitätszähler, beziehungsweise auf die Angaben der Pumpenmanometer. Die Genauigkeit der Berechnungen ist also direkt von der Genauigkeit der in Betrieb stehenden Messgeräte abhängig.

Berechnet man aus den jährlichen Elektrizitätsverbräuchen sowie den geförderten Mengen die Wirkungsgrade und vergleicht die Ergebnisse mit den direkt bestimmten Werten, stellt man beim Pumpwerk Pezzola und beim Pumpwerk Fontane einige Abweichungen fest. Der durchschnittliche Wirkungsgrad von Pezzola wird höher und jener von Fontane niedriger.

Die Wirkungsgrade der Pumpen, die regelmässig gewartet und überholt werden, sind für die Art der eingesetzten Pumpen als gut zu bezeichnen.

Was kann erreicht werden?

Erweisen sich die noch nicht gefassten Quellen als genügend ergiebig, kann die Gemeinde bis zu 20'000 Fr.- für den Wasser- und den Elektrizitätseinkauf sparen. Bezahlen muss sie aber die Zinsen und die Amortisationskosten der Quellenfassung und der Transportleitung. Die Nutzung solcher Quellen könnte aber wirtschaftlich sinnvoll sein.

Die Verbesserung des Leitungsnetzes hat erste Priorität. Dies in erster Linie wegen der Versorgungssicherheit und der Brandbekämpfung. Eine Senkung der Wasserverluste würde auch zu beträchtlichen Elektrizitätseinsparungen führen (bis zu 20 %). Aufwand und Nutzen der anderen Massnahmen sind schwieriger zu quantifizieren und bedürfen weiterer Abklärungen.