

Stromproduktion und Wärmegewinnung aus Trink- und Abwasser

Potentialabschätzung für die Stadt Bern

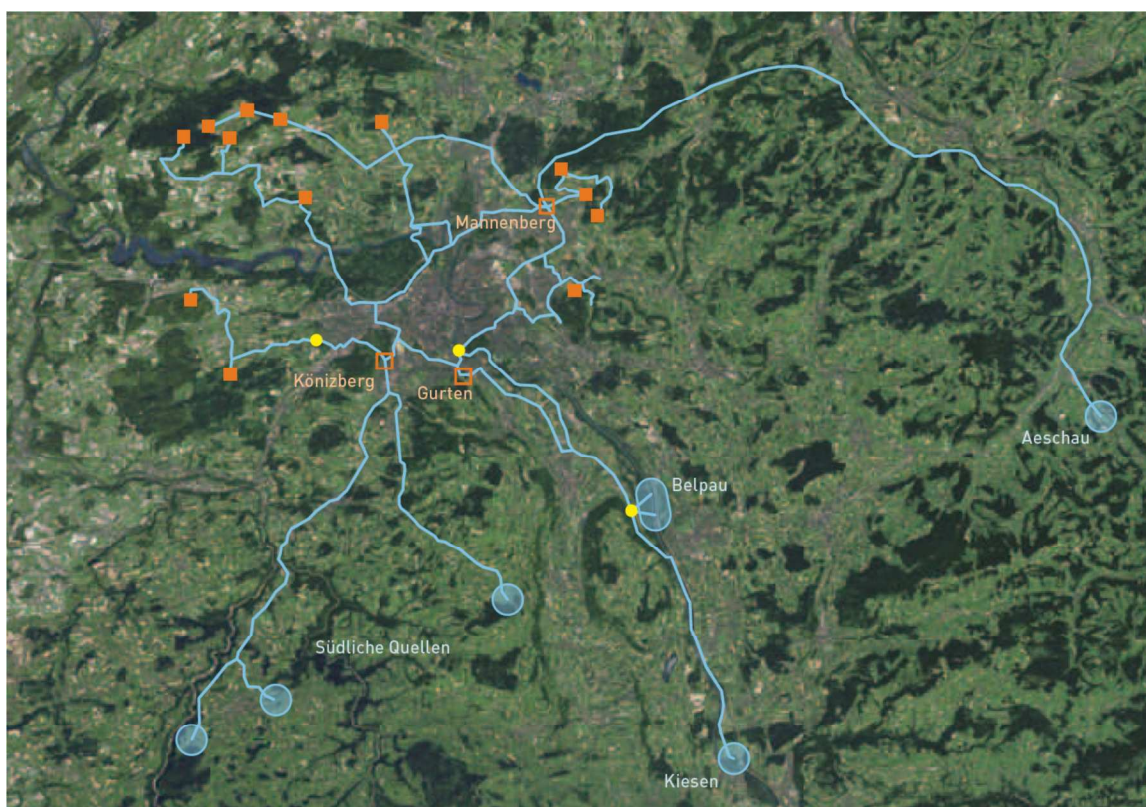
Im Auftrag von:

Amt für Umweltschutz der Stadt Bern AfU

Brunngasse 30

Postfach 124

3000 Bern 7



Bern, 10.01.2014

Verfasser/in: Eva Hirsiger, Bruno Liesch

Titelbild: „Trinkwasserversorgung“, WVRB AG

Inhalt

1. ZUSAMMENFASSUNG	4
2. AUSGANGSLAGE	6
3. ENERGIEGEWINNUNG AUS TRINKWASSER	7
3.1. Grundsätzliches über das Trinkwassernetz	7
3.2. Informationsgrundlagen	8
3.3. Stromproduktion aus Trinkwasser	9
3.3.1. Grundsätzliches	9
3.3.2. Kriterien	9
3.3.3. Bereits genutztes Potential in der Stadt Bern	9
3.3.4. Potential Stadt Bern	9
3.3.5. Schlussfolgerung Stromproduktion aus Trinkwasser	11
3.4. Wärmenutzung aus Trinkwasser	12
3.4.1. Grundsätzliches	12
3.4.2. Kriterien	12
3.4.3. Bereits genutztes Potential in der Stadt Bern	12
3.4.4. Potential Stadt Bern	12
3.4.5. Schlussfolgerung Wärmenutzung aus Trinkwasser	13
4. ENERGIEGEWINNUNG AUS ABWASSER	14
4.1. Grundsätzliches	14
4.2. Informationsgrundlagen	14
4.3. Stromproduktion aus Abwasser	14
4.3.1. Grundsätzliches	14
4.3.2. Kriterien	15
4.3.3. Bereits genutztes Potential in der Stadt Bern	15
4.3.4. Potential Stadt Bern	15
4.3.5. Schlussfolgerung Stromproduktion aus Abwasser	17
4.4. Wärmenutzung aus Abwasser	19
4.4.1. Grundsätzliches	19
4.4.2. Kriterien	19
4.4.3. Bereits genutztes Potential in der Stadt Bern	20
4.4.1. Potential Stadt Bern	20
4.4.2. Schlussfolgerung Wärmenutzung aus Abwasser	21

1. Zusammenfassung

Die Fraktion FDP hat im Frühling 2012 die Motion „Neue Trinkwasserkraftwerke auf Stadtböden“ eingereicht. Worauf der Stadtrat zwei Punkte der Motion als Postulat für erheblich erklärt hat. Das Amt für Umweltschutz der Stadt Bern hat darauf der INES Energieplanung GmbH mit der Abklärung der entsprechenden Punkte beauftragt. Der vorliegende Bericht ist eine grobe Potentialabschätzung von Stromproduktion und Wärmegewinnung aus Trink- und Abwasser. Die enthaltenen Informationen stammen aus den erwähnten Broschüren und aus Gesprächen mit dem städtischen Tiefbauamt, dem Wasserverbund Region Bern AG und Energie Wasser Bern. Der Bericht wurde von diesen drei Parteien und der arabern nach Fertigstellung redigiert.

Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse kurz zusammengefasst:

Trinkwasser

Das Trinkwassernetz der Stadt Bern kann man sich wie einen grossen Schwamm vorstellen. Es sind praktisch keine gerichteten Strömungen vorhanden. Die Trinkwasserversorgung wird in Primärnetz (Fassung bis Reservoir) und Sekundärnetz (Verteilung zu Verbrauchern) unterteilt.

- **Stromproduktion**

Bereits genutztes Potential befindet sich im Pumpwerk Schönau. Das Kraftwerk Schönau liefert bereits jährlich Strom in der Höhe von 500'000 kWh, was einem jährlichen Stromverbrauch von 125 Durchschnittshaushalten entspricht.

Das Primärnetz wurde bereits im Jahr 2010 auf weiteres, mögliches Potential untersucht. Das Sekundärnetz bietet auf Grund der schwammähnlichen Konstitution kaum Potential zur Stromnutzung.

Ein mögliches technisches Potential besteht bei der Einleitung von Trinkwasser in das Seehundebecken im Tierpark Dählhölzli. Die jährliche Stromproduktion würde rund 164'000 kWh betragen, was einem jährlichen Strombedarf von 40 Durchschnittshaushalten entspricht.

- **Wärmenutzung**

Das Primärnetz ist angesichts der Schwierigkeit in der näheren Umgebung Abnehmer zu finden kaum für eine Wärmenutzung aus Trinkwasser geeignet. Das Sekundärnetz bietet auf Grund der schwammähnlichen Konstitution kaum Potential.

Prüfungswert wäre ein Ausbau der bereits vorhandenen Wärmepumpenanlage im Pumpwerk Schönau.

Abwasser

Die Stromproduktion und Wärmegewinnung aus Abwasser ist im Vergleich zur Produktion aus „Saubwasser“ anspruchsvoller. Durch Verunreinigungen kann der Betrieb gestört oder die Produktion stark reduziert werden.

- **Stromproduktion**

Es besteht ein mögliches, technisches Potential für die Stromproduktion aus Abwässern in den Kanalabschnitten Wankdorffeld und Kirchenfeld. Ersteres entspricht einer Leistung von gut 5 kW und einer jährlichen Stromproduktion von 40'000 kWh. Diese Menge versorgt ungefähr 10 Durchschnittshaushalte. Letzteres würde eine Leistung von 1 bis 2 kW ausweisen und Strom in einer Höhe von 8'000 bis 16'000 kWh für zwei bis vier Haushalte liefern.

Im Gebiet Bümpliz/Bethlehem sind konzeptionelle Massnahmen geplant um das Abwassernetz der Stadt Bern zu entlasten. Beim weiteren Projektfortschritt sollten die Möglichkeit der Stromproduktion berücksichtigt werden.

- **Wärmenutzung**

Vorhandene Potentiale werden teilweise bereits genutzt (Wärmekollektiv Bremgarten, Gäbelbach/Holenacker) und können auf Ausbaupotential geprüft werden. Weitere Nutzungen sind in Planung (ewb, CSL-Behring).

Wärmeentzug aus Abwasser lohnt sich in der Regel nur bei Kanalsanierungen und bei grösseren Neubaugebieten. Diesbezüglich sollte bei Kanalsanierungs- oder –neubauvorhaben im Planungsprozess die Abwärmennutzung im Zusammenhang mit einer geeigneten Nutzung geprüft werden.

2. Ausgangslage

Am 24. Mai 2012 hat die Fraktion FDP (Alexandre Schmidt, FDP) die Motion „Neue Trinkwasserkraftwerke auf Stadtboden“ eingereicht und beauftragten den Gemeinderat Fragen über Standorte für neue Trinkwasserkraftwerke und zu evaluieren und konkrete Projekte von Trink- und Schmutzwasser zu lancieren.

Der Gemeinderat wurde beauftragt folgende Punkte zu bearbeiten:

1. Seine Eignerstrategie zur ewb hinsichtlich optimaler Nutzung von Trink- und Schmutzwasser zwecks Energiegewinnung zu ergänzen,
2. Standorte für neue Trinkwasserkraftanlagen evaluieren zu lassen und
3. Konkrete Projekte zu lancieren zwecks Nutzung des Potentials von Trink- und Schmutzwasser.

Der Gemeinderat beantragt am 21. November 2012 dem Stadtrat, die Motion abzulehnen. Anlässlich der Stadtratssitzung vom 23. Mai 2013 hat die Motionärin Punkt 1 der Motion zurückgezogen (Seine Eignerstrategie zur ewb hinsichtlich optimaler Nutzung von Trink- und Schmutzwasser zwecks Energiegewinnung zu ergänzen). Die Punkte 2 und 3 wurden in ein Postulat umgewandelt. Der Stadtrat erklärt Punkt 2 und 3 als Postulat mit 64 Ja zu 0 Nein für erheblich.

Das Amt für Umweltschutz der Stadt Bern AfU beauftragte INES Energieplanung GmbH mit der Ausarbeitung einer Potentialstudie.

3. Energiegewinnung aus Trinkwasser

3.1. Grundsätzliches über das Trinkwassernetz

Ein Trinkwassernetz ist ein mehrstufiges System. Das so genannte Primärnetz beginnt bei der Fassung des Wassers und endet im Reservoir. Das Reservoir wird in der Regel in der Nacht gefüllt und im Tag geleert, dabei ist immer ein Reservewasserstand für Lösch- und Störfallwasser vorhanden. Von dort aus wird das Wasser im Sekundärnetz an die Verbraucher verteilt.

Die Verantwortung für Gewinnung, Transport, Aufbereitung, Qualität, Speicherung und Kontrolle des Trinkwassers in der Stadt Bern obliegt der Wasserverbund Region Bern AG, WVRB. Für das Sekundärnetz zuständig ist Energie Wasser Bern ewb.

Grundsätzlich kann man sich das Trinkwassernetz der Stadt Bern wie einen grossen Schwamm vorstellen. Es gibt praktisch keine gerichteten Strömungen. Das Netz in der Stadt Bern ist ein kommunizierendes Gefäss. Um den Abfluss und eine sichere Versorgung zu steuern, wird das System teilweise mit Gegendruck vom Pumpwerk Schönau gegen die drei Reservoirs gedrückt. Im System herrschen im Mattequartier (tiefes Liefergebiet) etwa 12 bar Wasserdruck und in einigen höher gelegenen Gebieten wie der Länggasse ungefähr 2 bar Druck. Der Druck beim Hauseintritt muss gemäss SVGW (Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches) mindestens 2 bar betragen. Innerhalb des Versorgungsnetzes gibt es bei hohen Wohnbauten hausintern Druckerhöhungspumpen, damit der erforderliche Netzdruck in jeder Wohnung eingehalten werden kann. Pro 10m Gebäudehöhe reduziert sich der Druck um 1 bar.

Die Wasserverbund Region Bern AG verfügt über folgende Fassungen für die Stadt Bern:

- Grundwasserfassung Emmental
 - Fliesst ohne Pumpe, nur mit natürlichem Gefälle ins Reservoir Mannenberg
 - Wasserfassung: 26'000 l/min
- Quellwasserfassung Schwarzenburg, südliches Quellgebiet
 - Fliesst ohne Pumpe, nur mit natürlichem Gefälle ins Reservoir Königsberg
 - Wasserfassung: 8'000 l/min
- Grundwasserfassung Belpau
 - Wird ins Reservoir Gurten gepumpt
 - Wasserfassung: 10'000 l/min
- Grundwasserfassung Kiesen
 - Wird im Pumpwerk Schönau gepumpt; bei Bedarf kann das Wasser in die drei vorhandenen Reservoirs gepumpt werden, überschüssiges Wasser wird im Trinkwasserkraftwerk Schönau turbinert und in die Aare geleitet
 - Wasserfassung 55'000 l/min

3.2. Informationsgrundlagen

- Gespräch mit Martin Jutzeler, Leiter Planung Wärme und Wasser, Energie Wasser Bern ewb
- Gespräch mit Martin Frey, Betriebsingenieur, Wasserverbund Region Bern AG

Broschüren:

- „Kleinwasserkraft – Pressemappe“, energie schweiz
- „Nutzung von thermischer Energie aus Wasserversorgungsnetzen“, Felix Schmid, büro eam Energie und Umwelt, Aktion Energie in Infrastrukturanlagen im Programm Energie Schweiz
- „Im Trinkwasser schlummert Ökostrom“, EnergieInnovation Nr. 54d März 2003, energieschweiz

3.3. Stromproduktion aus Trinkwasser

3.3.1. Grundsätzliches

Trinkwasserkraftwerke gehören zu den Kleinkraftwerken. Per Definition nutzen sie Energie aus Wasser, welches zu Trinkwasserzwecken gefasst, aufbereitet und abgeleitet wird. Es spielt dabei keine Rolle an welcher Stelle im Netz der Trinkwasserversorgung die Energieerzeugungsanlage steht. Turbinen richtet man anstelle von Druckvernichtern ein. Trinkwasserkraftwerke können aus verschiedenen Gründen eine sehr gute Ökobilanz aufweisen. Sie nehmen fast keine weiteren Einflüsse auf das Ökosystem als das Trinkwasserversorgungssystem an sich. Ein Trinkwasserkraftwerk kann sich wirtschaftlich rechnen.

3.3.2. Kriterien

Geeignete Standorte für Trinkwasserkraftwerke können nicht nur im Berggebiet, sondern auch im Mittelland gefunden werden. Dazu ist eine genügend nutzbare Fallhöhe und eine stetige, genügend grosse Wasserdurchflussmenge erforderlich. Energieschweiz rechnet mit einer unteren Grenze der Wirtschaftlichkeit bei einer jährlichen Energieproduktion von 25'000 kWh/a, dies entspricht ungefähr einer nutzbaren Fallhöhe von 50m und einem Durchfluss von 500 l/min. Die dabei resultierende Leistung beträgt 3 kW. Als Leitung kommen alle Leitungen im Trinkwassersystem in Frage, die den Kriterien entsprechen, inklusive Quellwasserleitungen und die Verbindungsleitungen zwischen den unterschiedlichen Druckzonen, wo die Turbine zum Beispiel den Druckvernichter ersetzen kann.

3.3.3. Bereits genutztes Potential in der Stadt Bern

Über eine Freispiegelleitung fliesst das im Aaretal gefasste Grundwasser Richtung Bern zum Pumpwerk Schönau. Oberhalb des Pumpwerks befindet sich das Überlaufbauwerk. Das für die Versorgung benötigte Wasser wird ins Versorgungsgebiet gepumpt. Das überschüssige Wasser wird turbiniert und produziert seit der Renovation im Jahr 1983 jährlich 500'000 kWh. Diese Menge entspricht dem Stromverbrauch von ungefähr 125 Durchschnittshaushalten. Der Strom wird ins Netz eingespiessen. Das Kraftwerk weist einen maximalen Durchfluss von 700 l/s aus. Die Nettofallhöhe beträgt 17 m.

3.3.4. Potential Stadt Bern

Es wird zwischen dem Primär- und dem Sekundärnetz unterschieden:

Primärnetz

Die Leitungen des Primärnetzes wurden im Jahr 2010 von der WVRB AG bereits auf das Potential zur Stromnutzung untersucht. Das Resultat hat der Gemeinderat bereits in seiner Antwort auf die Motion erläutert¹. Grob zusammengefasst resultierte aus dieser Untersuchung die Erhöhung der Turbinenleistung im Pumpwerk Schönau. Die wirtschaftlichste Variante „Turbinierung des Wassers aus der Schwarzenburgleitung“ wurde von den Bewilligungsbehörden als nicht bewilligungsfähig eingestuft, da der bereits bestehende Schacht in einem Naturschutzge-

¹Variante 1: Turbinierung des Wassers aus der Schwarzenburgleitung und der Aeckenmattleitung im Schwarzwasser

Variante 2: Turbinierung des Wassers ausschliesslich aus der Schwarzenburgleitung (80kW)

Variante 3: Turbinierung des Wassers aus der Scherlitalleitung und der Schwarzenburgleitung im Sulgenbach

biet liegt und deshalb nicht ausgebaut werden darf. Die anderen Varianten wurden nicht weiter projektiert.

Grundsätzlich nennt die WVRB AG das Primärnetz als eher ungeeignet für eine Turbinierung. Rund 50% des Trinkwassers für die Stadt Bern fliesst selbstständig ins Reservoir und muss nicht gepumpt werden. Daher weist die Wassergewinnung im Gegensatz zu den meisten anderen Agglomerationen eine sehr gute Ökobilanz auf. Das Gefälle von ungefähr 30m von der Fassung Aeschau zum Reservoir Mannenberg wird benötigt um die Fliessgeschwindigkeit und den Druck aufrechtzuerhalten, damit das Wasser selbstständig ins Reservoir fliesst. Eine Turbinierung würde diesen Prozess behindern.

Ein interessantes Potential befindet sich im Tierpark Dählhölzli. In einem stetigen Durchfluss von ungefähr 1'800l/min und mit 9 bis 10bar strömt Trinkwasser in den Tierpark Richtung Seehundebecken und von dort weiter via Überlauf zu den Papageientauchern. Vor dem Einleiten in das Seehundebecken wird der Druck in einem separaten Gebäude mit einem Druckminderer reduziert. Dieser musste auf Grund der Lärmempfindlichkeit der Seehunde installiert werden. Anstelle dieses Druckminderers könnte eine Turbine eingebaut werden, wobei die Lärmproblematik nicht ausser Acht gelassen werden kann. Der jährliche Durchfluss beträgt rund 950'000 m³ pro Jahr. Die Druckvernichtung von 9 auf 0 bar entspricht einer Fallhöhe von circa 90m. Unter diesen Voraussetzungen kann mit einem Kleinwasserkraftwerk eine elektrische Dauerleistung von annähernd 20kW generiert werden. Die jährliche Stromproduktion würde rund 164'000 kWh betragen. Dieser Wert entspricht dem jährlichen Strombedarf von 40 Durchschnittshaushalten.

Die technische Machbarkeit und der Einfluss auf die Tiere müsste abgeklärt werden. Eine überschlagsmässige Berechnung zeigt auf, dass mit einer Investition von Fr. 200'000 ein Stromgestehungspreis von 15 Rp./kWh resultieren würde.

Das Wasser aus dem Aaretal muss bereits gepumpt werden und kann daher nicht für die Stromproduktion genutzt werden.

Sekundärnetz

Auf Grund der Konstitution des Sekundärnetzes, befinden sich keine Druckzonen und kaum gerichtete Strömungen im Netz. Die Durchflüsse sind sehr unstat. Die Fliessgeschwindigkeit im Netz beträgt mehrheitlich lediglich 0.01 m/s, was sehr gering ist. Es findet sich deshalb kein Potential für eine Trinkwasserturbinierung im Sekundärnetz.

Möglicherweise könnte Potential in der Nähe von Grossverbrauchern (Firmen mit Dreischichtbetrieb) gefunden werden, da dort ein relativ hoher, stetiger Durchfluss zu finden wäre. Es würde sich meist um Wassermengen, die für Prozesse benötigt werden, handeln. Die Investitionssicherheit beziehungsweise die Wirtschaftlichkeit eines Trinkwasserkraftwerks wäre nicht gegeben. Bei einer Prozessumstellung eines Grossverbrauchers würde der Wasserdurchfluss negativ beeinflusst werden. Die Durchflüsse (z.B. Stundenauflösung) der Grossverbraucher werden heute nicht erfasst. Bekannt ist jedoch, dass die Durchflüsse stark schwanken und für eine Turbinierung ungeeignet sind.

3.3.5. Schlussfolgerung Stromproduktion aus Trinkwasser

Ein mögliches technisches Potential besteht bei der Einleitung von Trinkwasser in das Seehundebecken im Tierpark Dählhölzli mit einer potentiellen elektrischen Leistung von ungefähr 20 kW. Die jährliche Stromproduktion würde somit rund 164'000 kWh betragen. Diese produzierte Strommenge entspricht einem jährlichen Strombedarf von 40 Durchschnittshaushalten.

Eine überschlagsmässige Berechnung zeigt auf, dass mit einer Investition von Fr. 200'000 ein Stromgestehungspreis von 15 Rp./kWh resultieren würde. Die technische Machbarkeit müsste abgeklärt werden.

Tabelle 1 Schlussfolgerungen Stromproduktion aus Trinkwasser

Genutztes Potential	Zusätzliches Potential	Bemerkungen
Turbinierung von Trinkwasser im Pumpwerk Schönauf : Produktion: 500'000 kWh Anzahl Haushalte: 125	Tierpark Dählhölzli bei der Einströmung ins Seehundebecken: Produktion: ca. 164'000 kWh Leistung: ca. 20 kW Anzahl Haushalte: ca. 40	Es wäre sinnvoll, dieses Potential mittels Machbarkeitsstudie genauer zu untersuchen.

3.4. Wärmenutzung aus Trinkwasser

3.4.1. Grundsätzliches

Da die Nachfrage nach Trinkwasser während der kalten Jahreszeit geringer ist als im Sommer, könnte es ohne Konkurrenz zur Wärmeproduktion genutzt werden. Das Wasser ist mit durchschnittlich 5 bis 15°C relativ warm und kann damit zu einer effizienten Betreibung einer Wärmepumpe beitragen. Das überschüssige Wasser aus der Trinkwasserversorgung wird bei der Wärmeentnahme um etwa 2 bis 4 K abgekühlt und dann entweder in einen Vorfluter gespiesen oder versickert (Überlaufprinzip). Andernfalls kann das Wasser zurück ins Netz gespiesen werden (Rückspeiseprinzip).

Mögliche Anlagen, die zur Wärmegewinnung verwendet werden können, sind:

- Quellwasserleitungen, Heberleitungen: Sie weisen einen konstanten Durchfluss auf und bei Überangebot kann das Wasser im Überlaufprinzip genutzt werden. Diese Leitungen sind jedoch meist weit entfernt von Siedlungen
- Überlaufleitungen: nur bei konstantem Überfluss der Wasserversorgung
- Transportleitungen: zwischen Reservoirs, die konstanten Durchfluss aufweisen
- Ungenutzte Grundwasserfassungen
- Grundwasserfassungen mit nicht ausgeschöpfter Kapazität

Bei der Wärmenutzung aus Trinkwasser gilt, dass aus wirtschaftlichen Gründen geeignete Abnehmer in der näheren Umgebung des installierten Wärmetauschers zu finden sein müssen. Am besten geeignet sind grundsätzlich Wärmeverbunde, grosse Gebäude, Neubausiedlungen und gemeindeeigene Gebäude. Ebenfalls sollte die notwendige Vorlauftemperatur der zu Beheizenden Gebäude möglichst tief sein, um die Wärmepumpe effizient betreiben zu können. Dieser Umstand ist vorwiegend bei Neubauten der Fall.

3.4.2. Kriterien

Eine wirtschaftliche Nutzung kommt in Frage, wenn Abnehmer mit einem Wärmeleistungsbedarf von mindestens 150 kW (bei 4 K Entzug ergibt das 32 m³/h oder 530 l/min) mit einem kontinuierlichen Durchfluss gefunden werden können.

Das Trinkwasser sollte wegen Frostgefahr im Sekundärnetz nicht auf unter 4°C abgekühlt werden.

3.4.3. Bereits genutztes Potential in der Stadt Bern

In der Stadt Bern wird momentan im Pumpwerk Schönauf für die Technikgebäude eine Wärmepumpe mit Wärme aus dem Trinkwasser betrieben.

3.4.4. Potential Stadt Bern

Wie bereits beim Kapitel der Stromproduktion erwähnt, weist das stadtbernerische Sekundärnetz fast keine Leitungen mit einem stetig hohen Durchfluss auf. Infolgedessen ist auch die Wärmenutzung stark eingeschränkt.

Potentiell genutzt werden könnten alle Stetsläufer von Trinkwasser. Beispielsweise die grossen Primärnetzleitungen aus dem Aare- und dem Emmental. Der grösste Teil des Primärnetzes

(Quellwasserleitungen, Grundwasserfassungen) ist jedoch ungeeignet für eine Wärmenutzung, da keine potentiellen Abnehmer in der näheren Umgebung gefunden werden können.

Die bereits bestehende Trinkwasserwärmepumpe im Pumpwerk Schönaue könnte auf einen möglichen Potentialausbau hin geprüft werden.

3.4.5. Schlussfolgerung Wärmenutzung aus Trinkwasser

Das Primärnetz ist angesichts der Schwierigkeit in der näheren Umgebung Abnehmer zu finden kaum für eine Wärmenutzung aus Trinkwasser geeignet. Das Sekundärnetz bietet auf Grund der schwammähnlichen Konstitution (fast keine gerichtete Strömung, geringe Fließgeschwindigkeit) kaum Potential.

Prüfungswert wäre ein Ausbau der bereits vorhandenen Wärmepumpe im Pumpwerk Schönaue.

Tabelle 2 Schlussfolgerungen Wärmenutzung aus Trinkwasser

Genutztes Potential	Potential	Bemerkungen
Wärmepumpenanlage Pumpwerk Schönaue: Thermische Leistung: nicht bekannt Wärmeproduktion: nicht bekannt	Ausbau Wärmepumpenanlage im Pumpwerk Schönaue: Thermische Leistung: nicht bekannt Wärmeproduktion: nicht bekannt	

4. Energiegewinnung aus Abwasser

4.1. Grundsätzliches

90 Millionen Liter Abwasser von Haushalten, Industrie und Gewerbe fliessen täglich in die Abwasserreinigungsanlage arabern. Für Sammlung und Transport ist ein ausgeklügeltes Kanalisationssystem notwendig. Abwasser, Schmutz- und Regenwasser werden entweder getrennt im so genannten Trennsystem oder gemeinsam im Mischsystem transportiert. In der Stadt Bern wird praktisch das ganze System als Mischsystem erachtet. Bei starkem Regen können die Hauptsammelkanäle nahezu voll werden. Zur Entlastung des Abwassernetzes wird bei Starkregenereignissen verdünntes Mischwasser über Regenüberläufe oder Regenüberlaufbecken in die Vorfluter entlastet (z.B. Aare).

Primäre Funktion des Kanalsystems in die Ableitung dieses Wassers. Die energetische Nutzung ist immer sekundär und darf das Abwassersystem nicht negativ beeinflussen. Ebenfalls darf die Betriebssicherheit nicht eingeschränkt werden.

Die Zuständigkeit für den Schmutzwasserbetrieb liegt bei den Gemeinden der Einzugsgebiete. In der Stadt Bern liegt die Verantwortung bei der Direktion für Tiefbau, Verkehr und Stadtgrün (TVS) und der arabern.

4.2. Informationsgrundlagen

- Gespräch mit Frank Marti, Projektleiter Tiefbauamt Stadt Bern
- Schriftliche Rückmeldung arabern

Broschüren:

- „Aus grauem Wasser wird grüner Strom – Interessante Stromerzeugung in Abwasserleitungen“, Bulletin SEV/AES 2/2009
- „Elektrizität aus Abwasser-Systemen – Konzept, Realisation, Potential“, 1995, Bundesamt für Energie, Bern
- „Wärmenutzung aus Abwasser“, 2004, energie schweiz
- „Wärmenutzung aus Abwasserkanälen – Eine regenerative Energiequelle mit grossem Potential“, Bundesamt für Energie, Bern, 2000

4.3. Stromproduktion aus Abwasser

4.3.1. Grundsätzliches

Erstmals ist in Theorie die Turbinierung von Abwasser in den Siebzigerjahren entstanden. Es ist eine Art Kleinwasserkraftwerk, das ohne Eingriffe in die Natur und dezentral realisierbar ist. Vorhandene Infrastruktur kann genutzt werden. Eine Nutzung kann vor der ARA im Kanalsystem oder nach der Reinigung beim Einleiten in das Gewässer erfolgen.

Es gibt in der Schweiz installierte Abwasserturbinen. Die Mehrheit liegt in den Bergregionen, wo Abwasser in höherliegenden Gemeinden gesammelt und beim Transport in die tieferliegenden ARA turbinieren werden kann.

4.3.2. Kriterien

Grundsätzlich sind die Kriterien bei der Produktion von Elektrizität dieselben, wie bei der Turbinierung von Trinkwasser (s. Kap. 3.3.2). Jedoch bereiten verschmutzte Abwässer bei der Turbinierung Probleme.

4.3.3. Bereits genutztes Potential in der Stadt Bern

Momentan wird in der Stadt Bern keine Elektrizität aus der Turbinierung von Abwasser gewonnen.

4.3.4. Potential Stadt Bern

Die Nutzung von Abwasser zur Stromproduktion ist nur in den Hauptsammelkanälen überhaupt prüfenswert. In den anderen Kanälen ist der Trockenwetterabfluss zu gering oder zu unregelmässig. Es bestehen in der Stadt Bern wenige Abwasserleitungen, die sich auf Grund des Trockenwetterabflusses und des Gefälles für eine Turbinierung eignen würden:

- Ein **Kanalabschnitt in der Nähe Wankdorffeld** (s. Abbildung 1) erfüllt die Kriterien für eine Turbinierung. Das Gefälle beträgt etwa 13 m und der Trockenwetterabfluss beläuft sich auf ungefähr 55 l/s. Dies entspricht einer Leistung von gut 5kW und einer jährlichen Stromproduktion von 40'000 kWh. Diese Produktionsmenge würde den Strombedarf von ca. 10 Durchschnittshaushalten decken. Für eine zukünftige Nutzung spricht auch, dass sich im angedachten Abschnitt keine weiteren Zuläufe befinden. Eine technische Umsetzung wurde bisher nicht geprüft. Bei einer Investition in Wasserbauwerk, Turbine und Elektroinspeisung von Fr. 110'000 würde der Stromproduktionspreis ungefähr 30 Rp./kWh betragen.
- Weiteres - jedoch eher geringes - Potential besteht bei einem **Kanalabschnitt im Kirchenfeld** (s. Abbildung 2). Das Gefälle beträgt dort ungefähr 20m und der Trockenwetterabfluss 6 – 13 l/s. Bei einer Nutzung würde die elektrische Leistung 1 bis 2 kW und die jährlichen Stromproduktion von 8'000 bis 16'000 kWh betragen. Diese Produktionsmenge würde den Strombedarf von zwei bis vier Durchschnittshaushalten abdecken.

In beiden Fällen müsste mit einem Parallelkanalsystem gearbeitet werden. Es wurde bisher keine technische Umsetzung geprüft.

Bei einer Investition in Wasserbauwerk, Turbine und Elektroinspeisung von Fr. 40'000 würde der Stromproduktionspreis ca. 30 Rp./kWh betragen.



Abbildung 1: Potential Stromnutzung Abwasser nahe Wankdorf (Quelle: Tiefbauamt Stadt Bern)

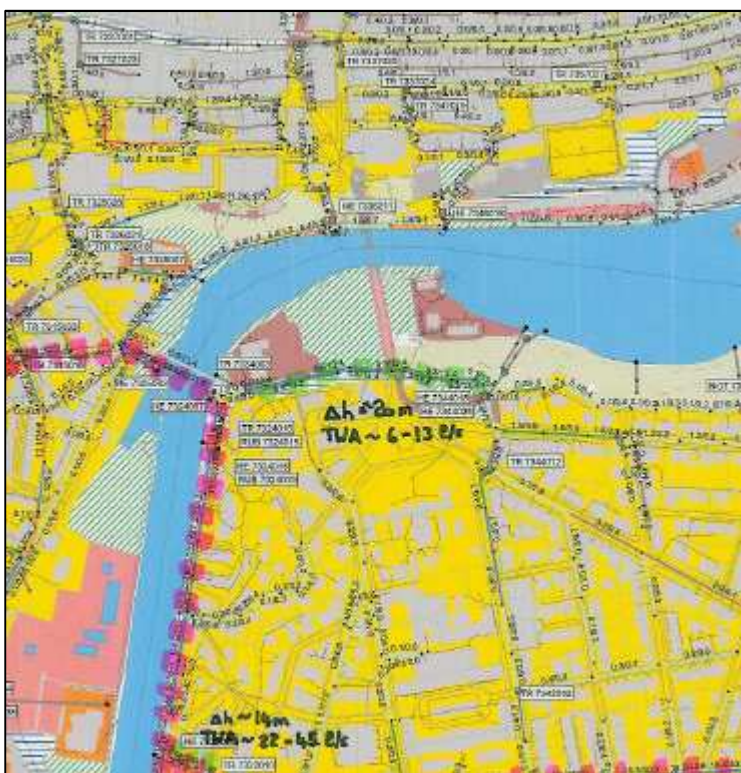


Abbildung 2: Potential Stromnutzung Abwasser Kirchenfeld (Quelle: Tiefbauamt Stadt Bern)

- Im Bereich Bümpliz / Bethlehem werden gegenwärtig konzeptionelle Überlegungen bezüglich neuer Abwasserführung zur arabern gemacht, um das Kanalnetz der Stadt zu entlasten. Eine Realisierung des Projekts würde um 2020 stattfinden. Das grösste realisierbare Potential besteht wohl aus technischen und wirtschaftlichen Gründen im Bereich dieser Massnahmen. Ein Vorteil bei diesem Potential ist, dass vor allem neue Kanäle für das entlastete Bachwasser gebaut würden, was die Turbinierung technisch deutlich einfacher macht als bei Misch- oder Schmutzwasser. Bei der konkreten Planung soll der Aspekt der Stromproduktion aus Abwasser in einem frühen Planungsstadium miteinbezogen und eine Machbarkeitsstudie durchgeführt werden.
- Wirbelfallschächte stellen ein theoretisches Potential zur Stromnutzung dar. Allerdings sind Wirbelfallschächte hydraulisch und Lüftungstechnisch komplexe Bauten und dürfen in ihrer Funktion nicht eingeschränkt werden. Es muss für die Turbinierung ein paralleles System gelegt werden. Als weitere Schwierigkeit anzuführen ist, dass die Wirbelfallschächte in der Stadt Bern meistens keinen konstanten Abfluss aufweisen. Als Ausnahmen sind unter anderem zwei Schächte in Bethlehem / Bümpliz zu erwähnen, die in der momentanen Situation einen stetigen und relativ hohen Abfluss haben (Entlastung Stadtbach). Dieser Zustand kann sich allerdings mit den konzeptionellen Massnahmen verändern (s. vorhergehender Punkt). Das Wasser in diesen zwei Wirbelfallschächten ist primär Bachwasser oder entlastetes Mischwasser und daher bei der Turbinierung einfacher handhabbar als Misch- oder Schmutzwasser.
- Eine Turbinierung nach der arabern stellt kein Potential dar, da nicht ausreichend Gefälle vorhanden ist.

4.3.5. Schlussfolgerung Stromproduktion aus Abwasser

Die Stromproduktion aus Abwasser ist im Vergleich zur Stromproduktion aus „Saubwasser“ anspruchsvoller. Durch Verunreinigungen kann der Betrieb gestört oder die Produktion stark reduziert werden. Die Wartungs- und Unterhaltskosten solcher Kraftwerke sind dementsprechend höher.

Ausgewiesenes, technisches Potential:

- Es besteht ein mögliches, technisches Potential für die Stromproduktion aus Abwässern in zwei Kanalabschnitten Wankdorffeld und Kirchenfeld. Die produzierte Strommenge würde den Strombedarf von 10 bis 14 Durchschnittshaushalten decken.

Ausgewiesenes, wirtschaftliches Potential

- Um Stromproduktionskosten von beispielsweise 30 Rp./kWh zu erzielen, dürfte dafür maximal Fr. 150'000 investiert werden. Dieser Betrag scheint für die Erstellung solcher Bauwerke als nicht realistisch. Stromgestehungskosten von 50 Rp. und mehr sind eher realistisch.

Generell sind die Leistungen dieser beiden Potentiale zu gering, damit sich eine grössere Investition lohnen würde.

Wirbelfallschächte stellen kein Potential dar.

Die geplanten Massnahmen im Gebiet Bümpliz/Bethlehem könnten zu einem realistischen Potential führen. Beim weiteren Projektfortschritt sollten die Möglichkeit der Stromproduktion berücksichtigt werden.

Tabelle 3 Schlussfolgerungen Stromproduktion aus Abwasser

Genutztes Potential	Potential	Bemerkungen
	Kanalabschnitt in der Nähe Wankdorffeld: Produktion: ca. 40'000 kWh Leistung: 5 kW Anzahl Haushalte: 10	Früheinbezug in Projektplanung bei Renovationen und Neubauten im Abwassernetz (konkret bei den konzeptionellen Massnahmen Bümpliz/Bethlehem)
	Kanalabschnitt im Kirchenfeld: Produktion: 8'000 – 16'000 kWh Leistung: 1-2 kW Anzahl Haushalte: 2-4	
	Geplante konzeptionelle Massnahmen im Gebiet Bümpliz/Bethlehem	

4.4. Wärmenutzung aus Abwasser

4.4.1. Grundsätzliches

Das städtische Abwasser weist in Während der Heizperiode eine Temperatur von 10 bis 15°C auf. Diese Temperatur ist eine gute Voraussetzung um eine Wärmepumpe effizient betreiben zu können.

Grundsätzlich kann man wie bei der Stromproduktion die Wärme des Abwassers vor oder nach dem Durchlauf durch die Abwasserreinigungsanlage ARA nutzen. Die Wärmeentnahme erfolgt mittels Wärmetauscher, der auf verschiedenste Weise in einen bestehenden oder einen neuen Kanalabschnitt integriert werden kann. Die Nutzung nach der ARA ist technisch einfacher, da das Wasser bereits gereinigt ist. Die Wärmetauscher werden dabei wesentlich weniger verschmutzt.

Bei der Wärmenutzung aus Abwasser gilt (wie bei der Wärmenutzung aus Trinkwasser), dass aus wirtschaftlichen Gründen geeignete Abnehmer in der näheren Umgebung des installierten Wärmetauschers zu finden sein müssen. Am besten geeignet sind grundsätzlich Wärmeverbunde, grosse Gebäude, Neubausiedlungen. Ebenfalls sollte die notwendige Vorlauftemperatur der zu Beheizenden Gebäude möglichst tief sein, um die Wärmepumpe effizient betreiben zu können. Dieser Umstand ist vorwiegend bei Neubauten der Fall.

4.4.2. Kriterien

Es wird zwischen Wärmenutzung vor und nach der Abwasserreinigungsanlage ARA unterschieden:

Wärmenutzung vor der ARA

- Eine wirtschaftliche Nutzung kommt für Kanalabschnitte mit mittleren Trockenwetterabflussmengen ab 15 l/s in Frage. Der Kanal-Innendurchmesser sollte mindestens 800mm betragen. Je nach Grösse der Anlage sind gerade Kanalabschnitte von einer Längen von 20 bis 150m nötig.
- Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Temperatur des Abwassers das in die ARA gelangt. Eine Abkühlung des Abwassers kann die Nitrifikation und Denitrifikation in der ARA beeinflussen. Die Abkühlung durch Wärmeentnahme entspricht normalerweise etwa dem gängigen Wärmeverlust des Abwassers in der Kanalisation im Winter. Wird das Abwasser durch den Wärmetauscher vor der ARA auf unter 10°C oder um mehr als 0.5K abgekühlt, muss die Situation von Fachleuten mit so genannten Nanogramms geprüft werden. Bewilligungen müssen daher genau geprüft werden um negative Einwirkungen auf die Reinigungsleistung der ARA auszuschliessen. Die Nutzung des Abwassers zur Kühlung erwärmt dieses. Eine Beeinträchtigung des Betriebs der ARA ist nicht zu erwarten. Einschränkungen durch Nutzung für Kühlzwecke sind daher aus der Sicht der Abwasserreinigung sind nicht gegeben.

Vereinfacht ist die Temperaturabnahme des Abwasserstroms abhängig von der entnommenen Abwasser-Wärmemenge und der Durchflussmenge des Abwassers. Es gilt: Je grösser die Abwasser-Wärmemenge, desto geringer ist der resultierende Temperatursturz des Abwasser.

- Die Kriterien und Bedingungen für den Einbau von Wärmetauscher in bestehende Kanalisationsabschnitte sind spezifisch:

- Die Kapazität und Funktionsweise der Kanalisation darf nicht vermindert beziehungsweise gestört werden. Die Betriebssicherheit der Abwasseranlage muss gewährleistet bleiben.
- Zugänge für Wartung und Unterhalt müssen immer und überall, insbesondere Spülarbeiten, weiterhin möglich sein
- Biofilmbildung und einhergehende Leistungsminderung auf Wärmetauscher muss bei der Grösse mitberücksichtigt werden oder /und eine Reinigung muss möglich sein)

Wärmenutzung nach der ARA:

- Die Temperatur des Fließgewässers (Gewässerschutzverordnung) darf sich durch die Wärmeentnahme nicht um mehr als 1.5 K verändern
- Die Temperatur des Wassers darf nach dem Durchlauf durch die ARA in den Vorfluter nicht unter 3°C sein

4.4.3. Bereits genutztes Potential in der Stadt Bern

- Die Aare nutzt seit 1984 (Sanierung 2005/06) Wärme aus dem gereinigten Abwasser und stellt es dem Wärmekollektiv Bremgarten zur Verfügung. Bevor das Wasser in die Aare fließt wird ihm mittels einer Wärmetauschanlage rund 2K Wärme entzogen und aufbereitet. Mit der gewonnen Wärme werden verschiedene Quartiere der Gemeinde Bremgarten, genutzt durch dezentrale Wärmepumpenanlagen, beheizt.
- Auch im Wohnquartier Gäbelbach / Holenacker wird für die Wärmeherstellungs- und Wärmeversorgungsanlage bereits Abwärme aus dem nahegelegenen Abwasserkanal genutzt. Installiert sind ergänzend zur vorhandenen Anlage zur Beheizung der Neubauten „Brünnen Wohnen“ zwei Wärmepumpen mit je 312 kW Heizleistung.
- Eine aktuelle Projektentwicklung von ewb befasst sich mit der Nutzung der Abwärme aus den Abwässern der CSL-Behring diese aufzubereiten und zur Beheizung von Liegenschaften mittels eines Nahwärmeverbands Wankdorf Feld zu nutzen.

4.4.1. Potential Stadt Bern

Nach den vereinfachten Kriterien (Trockenwetterabfluss und Kanaldurchmesser) weisen einige der Hauptsammelkanäle Potential auf. Jedoch gibt es einige Faktoren, die einer effizienten und wirtschaftlichen Nutzung widersprechen.

Zum Teil liegen die schon gegen hundertjährigen Abwasserkanäle (grundsätzlich geht man von einer Lebensdauer von 80 Jahren aus) bis zu 50 m unter Terrain. Arbeiten in 50m unter Terrain sind technisch sehr aufwändig und müssten genau geprüft. Auf Grund des Alters der Abwasserkanäle muss davon ausgegangen werden, dass in absehbarer Zukunft einige Kanalabschnitte renoviert oder ersetzt werden müssen und eine energetische Nutzung bis dahin kaum wirtschaftlich sein wird.

Das Alter der Kanalisation bietet jedoch zugleich auch Potential. Aus wirtschaftlichen Gründen ist es von Vorteil bei einer Sanierung oder einem Neubau gleich eine Energie nutzende Anlage zu integrieren / projektieren um Synergien zu nutzen. Grundsätzlich wäre es am Sinnvollsten im Pflichtenheft zu festzuhalten, dass bei Sanierungen und Neubauten immer bereits in einem frühen Planungsstadium die Wärmenutzung konkret geprüft werden soll.

Einige konkrete Projekte könnten bereits jetzt genauer auf mögliches Potential untersucht werden:

- Im Zusammenhang mit dem Hochwasserschutz Aare sind Änderungen im Bereich der Kanalisation wahrscheinlich. Dies wären jedoch wohl mehrheitlich Kanäle für Strassen- und Regenwasser und weniger für Misch- und Schmutzwasser. Jedoch kann auch hier bei der Projektierung die Energieproduktion miteinbezogen werden.
- In den bereits erwähnten konzeptionellen Überlegungen im Abwassernetz im Bereich Bethlehem / Bümpliz soll gleichzeitig mit einer Prüfung der Stromproduktion das Potential der Wärmenutzung analysiert werden.
- Das Wärmekollektiv Bremgarten ist auf Ausbaupotential zu prüfen.

4.4.2. Schlussfolgerung Wärmenutzung aus Abwasser

Wärmeentzug aus Abwasser lohnt sich in der Regel nur bei Kanalsanierungen und bei grösseren Neubaugebieten. Diesbezüglich sollte bei Kanalsanierungs- oder -neubauvorhaben im Planungsprozess die Abwärmenutzung im Zusammenhang mit einer geeigneten Nutzung geprüft werden.

Vorhandene Potentiale werden teilweise bereits genutzt (Wärmekollektiv Bremgarten, Gäbelbach/Holenacker). Beim Wärmekollektiv Bremgarten besteht möglicherweise Ausbaupotential. Weitere Nutzungen sind in Planung (ewb, CSL-Behring).

Tabelle 4 Schlussfolgerungen Wärmenutzung aus Abwasser

Genutztes Potential	Potential	Fazit
Wärmekollektiv Bremgarten	CSL-Behring Nicht bekannt, bzw. durch ewb in Bearbeitung	Ausbaupotential Wärmekollektiv Bremgarten prüfen Früheinbezug in Projektplanung bei Erneuerungen und Neubauten im Abwassernetz
Gäbelbach / Holenacker: Leistung: zwei Wärmepumpen mit je 312 kW		