

Integrierte Wasserbedarfsprognosen - Grundlagen und Methodik

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE), Frankfurt am Main

Dipl.-Ing. Jutta Deffner; Dr. Konrad Götz; Dr. Thomas Kluge; Dr. Stefan Liehr

COOPERATIVE Infrastruktur und Umwelt, Darmstadt

Dr. Bernhard Michel; Dipl.-Kaufmann Florian Michel; Dr. Wulf Rührich

1 Zielsetzung von Wasserbedarfsprognosen

Wasserbedarfsprognosen bilden die Grundlage für die technischen und wirtschaftlichen Dispositionen von Versorgungsunternehmen sowie für wasserrechtliche Entscheidungen über Ressourcennutzung. Es stellte sich die Frage, in welchem Ausmaß und in welchem Zeitraum sich der zukünftige Wasserbedarf einzelner Verbrauchergruppen und einzelner Versorgungsgebiete entwickeln wird. Für die wirtschaftliche Betriebsführung sind Prognosen mit teilräumlichen Aussagen über die voraussichtliche kurzfristige Entwicklung der Tagesnachfrage von Bedeutung.

2 Konzeption und Vorgehensweise

Das vorliegende Konzept der Wasserbedarfsprognose wurde vom Institut für sozial-ökologische Forschung ISOE und der COOPERATIVE Infrastruktur und Umwelt gemeinsam entwickelt und für die Hamburger Wasserwerke (HWW) in der Metropolregion Hamburg angewandt. Es weist gegenüber konventionellen Wasserbedarfsprognosen mehrere grundsätzliche Innovationen auf. Mit der besonderen Berücksichtigung nachfrageseitiger Aspekte des Wasserbedarfs knüpft das Konzept an die Forderungen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie an, die dem Bedarfsmanagement und somit dem Blick auf den nachhaltigen Schutz und die effiziente Nutzung der verfügbaren Wasserressourcen eine zunehmende Rolle beimisst.

2.1 Beschreibung des Versorgungsgebietes

Wasserversorgungsgebiete umfassen in der Regel die unmittelbaren Stadtgebiete sowie Städte und Gemeinden im Umland, die ganz oder teilweise versorgt werden. Außerdem kann Trinkwasser an Weiterverteiler geliefert werden. Zielsetzung der Beschreibung des Versorgungsgebietes ist es, Aussagen über die relevanten Strukturmerkmale des Versorgungsgebietes zu erhalten.

2.2 Teilräumliche Analyse und Prognose

Mit einer GIS-gestützten, teilräumlichen Analyse und Prognose für alle Verbrauchergruppen wird eine Beurteilungsgrundlage erreicht, die siedlungsstrukturelle und sozialstrukturelle Unterschiede und deren zukünftige Veränderungen differenzierter aufzunehmen vermag als dies im Falle einer Gesamtbetrachtung für das Stadtgebiet bisher möglich war.

In der Regel liegen in Deutschland kleinräumige, georeferenzierte Daten (Verbrauchstellen; Liegenschaftsdaten; Einwohner- und Unternehmensstatistik) vor, die eine differenzierte Analyse der Wasserabgabe auf Grundstücks- oder Blockebene erlauben. Die Prognose des Wasserbedarfs erfolgt dann zunächst auf der Skala von Stadtteilen bzw. Versorgungszonen, deren Summierung schließlich zur Ermittlung des Gesamtbedarfs im Versorgungsgebiet führt. Für die Versorgungsgebiete, für die keine entsprechenden kleinräumigen Daten vorliegen (z.B. ALK-Daten), müssen die Analysen großräumiger, z.B. auf Stadtteil- oder Gemeindeebene, ausgerichtet werden.

2.3 Verbraucherspezifische Analyse und Prognose

Die teilräumliche Analyse wird je nach verfügbaren Grundlagen und beabsichtigter Verwendung der Ergebnisse bis zu einzelnen Verbrauchergruppen bzw. Verbrauchsstellen differenziert. Für die Verbrauchergruppe der Haushalte werden technische, siedlungsstrukturelle und

sozialstrukturelle Faktoren berücksichtigt. Für die Verbrauchergruppen Industrie und Gewerbe/Dienstleistungen werden Beschäftigte als Bezugsgrößen gewählt und die Fortschreibung der zukünftigen Entwicklung an wirtschaftliche Kenndaten und Prognosen angepasst. Diese Vorgehensweise erlaubt es, die wechselseitigen Abhängigkeiten von Technik, Wirtschaft, Sozialstruktur und Nutzungsverhalten in die Prognose einzubeziehen.

2.4 Modell für die mittel- und langfristige Prognose

Die mittel- und langfristige Prognose erfolgt mittels eines Prognosemodells in Form einer Tabellenkalkulation. Damit wird eine konsistente und transparente Zusammenführung aller relevanten verfügbaren Daten und Analyseergebnisse erreicht. Darüber hinaus können grundlegende Annahmen und Hypothesen über zukünftige Entwicklungen durch geeignete Parametrisierungen einbezogen werden. Dies erlaubt langfristig eine expertengestützte Anpassung der Wasserbedarfsprognose an neue Erkenntnisse und aktualisierte Datengrundlagen.

2.5 Modell für die Tagesprognose

Zur Analyse und kurzfristigen Prognose von Tages-Mengen der Wasserabgabe sowie kalendrischen und meteorologischen Einflussfaktoren wurde ein multi-faktorielles „Tages-Prognosemodell“ entwickelt. Es dient zur Analyse und Prognose des voraussichtlichen Wasserbedarfs mit einem Prognosezeitraum von ca. 5 Tagen und kann zur Abschätzung der Wirkungen äußerer Einflüsse, wie des Klimawandels auf zukünftige Bedarfsentwicklungen verwendet werden. Außerdem bietet es die Möglichkeit kurzfristige Bedarfsentwicklungen mit dem Zeithorizont von Tagen in Prozessen der betrieblichen Planung und Steuerung einzubinden. Das Tages-Prognosemodell berücksichtigt auf Basis der täglichen Daten zu maximaler Temperatur, Niederschlag, Datum, Ferien-/Feiertag bis zu acht identifizierten Einflussfaktoren.

3 Grundlagen der teilräumlichen Analyse

Die beschriebene Konzeption der Wasserbedarfsprognose ist eingebettet in ein methodisches Konzept, das sich aus folgenden Komponenten zusammensetzt (s. Abbildung 1):

- Erhebung aller relevanter Daten und Informationen des Versorgungsunternehmens über das Wasseraufkommen und die Wasserabgabe;
- Expertengespräche zu langfristigen Entwicklungstendenzen in der Stadtplanung, in der ökonomischen und demografischen Entwicklung sowie zu Trend bezüglich zukünftiger Wassertechniken in Haushalten;
- GIS-gestützte, teilräumliche Analyse der siedlungsstrukturellen Aspekte (z. B. Bruttogeschossflächen; Überbaute Flächen; Einwohner; Haushalte, Branchen) nach Verbrauchergruppen („Haushalte“, „Industrie“, „Dienstleistungsgewerbe“, „öffentliche Einrichtungen“, „Sonstige Verbraucher“);
- Sozial-empirische Erhebung bei den Haushaltskunden zur Analyse sozialstruktureller und haushaltstechnischer Faktoren die das Nutzungsverhalten und den Wasserbedarf beeinflussen;
- Online-Erhebung bei den Nicht-Haushaltskunden zur Analyse spezifischer Bezugsgrößen des Wasserbedarfs von Industrie, Gewerbe/Dienstleistungen und öffentlichen Einrichtungen;
- Auswertung aller Daten und Informationen in Verbindung mit wesentlichen Annahmen und schlussfolgernden Hypothesen.

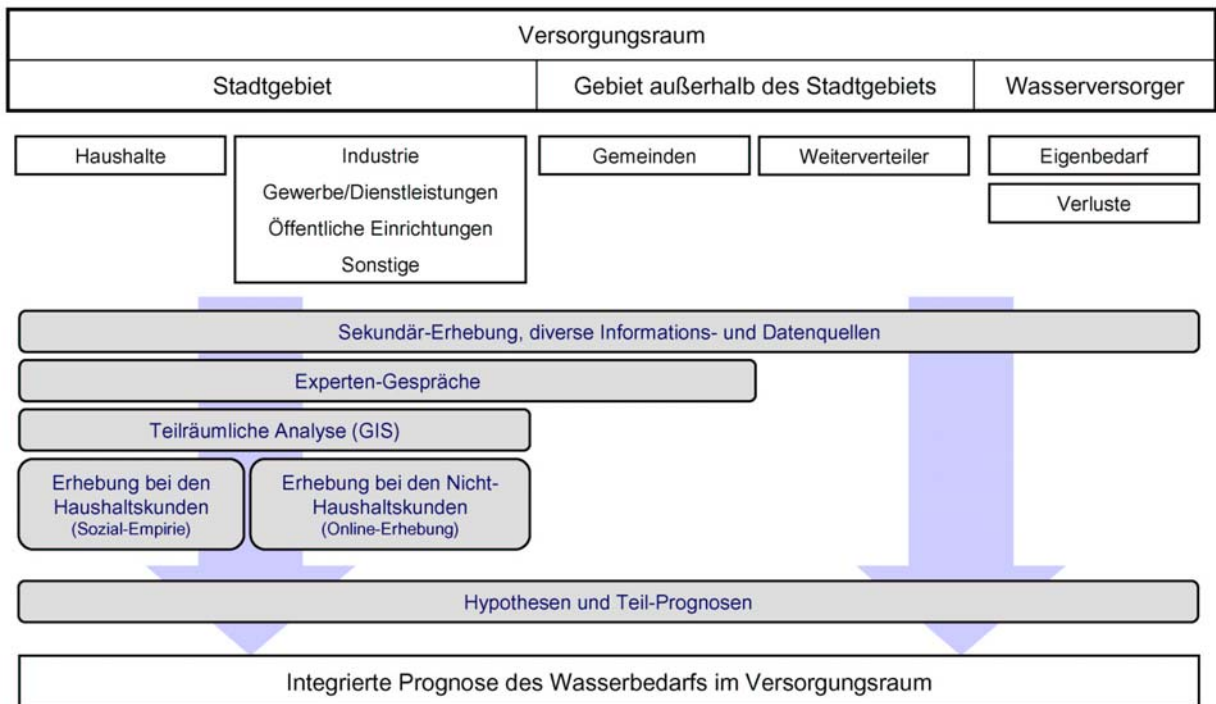


Abbildung 1: Konzeption der teilräumlichen Analyse

3.1 Räumliche Zuordnung und Verknüpfung der Daten mit Hilfe Geografischer Informationssysteme (GIS)

Zur Analyse und Bewertung der Versorgungssituation in Versorgungsgebieten und zur Erstellung der Prognose für die Verbrauchergruppen stehen in der Regel eine Vielzahl unterschiedlicher Daten und Informationen zur Verfügung. Sie werden durch lagebezogene Verknüpfungen zu einer „Gesamtdatei“ zusammengefügt. Sie stellt die Grundlage für weitergehende Analysen, Verknüpfungen und Prognoseberechnungen dar.

Mit Hilfe von Geografischen Informationssystemen (GIS) lassen sich raumbezogene Daten erfassen, verwalten, analysieren und präsentieren. Die Informationen (Attribute) der Objekte (Verbraucher, Stadtteile, Versorgungszone, usw.) können mit Hilfe von GIS georeferenziert dargestellt und analysiert werden.

Das Zusammenführen (Verschneiden) unterschiedlicher Informationen ist durch Lagefaktoren, z.B. Punkte (Verbrauchsstellen) oder Flächen (Gebäude) innerhalb einer anderen Fläche (Flurstück, Stadtteil, Versorgungszone) oder gleicher Attribute (z.B. Adresse) möglich. Die Attribute sind mit GIS-Werkzeugen zu bearbeiten und als Tabellen, Grafiken und Karten darstellbar. Eine Übernahme der Attribute in eine Datenbank ist bei großen Datenmengen sinnvoll. Die Auswertungsergebnisse können als Tabelle und Grafik dargestellt oder wieder in das GIS übernommen werden.

Im Rahmen der Wasserbedarfsprognose für die Hamburger Wasserwerke wurde ArcView für die Zusammenführung und Auswertung unterschiedlicher Daten und für die teilräumliche Analyse und Prognose des Wasserbedarfs verwendet.

3.2 Demografische, wirtschaftliche und räumliche Entwicklung

Die GIS-Analyse bildet den aktuellen Zustand und die voraussichtliche Entwicklung der Flächennutzung, der Bevölkerungsverteilung, des Wasserbedarfs und der Wirtschaft ab. Zur Einordnung der einwohnerbezogenen Entwicklung ist es notwendig, die aktuellen Tendenzen der räumlichen Entwicklung im Versorgungsraum zu systematisieren sowie spezifische Aussagen über Stadtentwicklungsdynamiken abzuleiten. Dies betrifft insbesondere Entwicklun-

gen, wie sie in Leitbildern, wie z.B. „Metropole Hamburg – Wachsende Stadt“ (FH Hamburg 2002), dargestellt sind. Schwerpunkte hierbei liegen auf teilräumlichen Entwicklungstendenzen sowie auf den qualitativen und quantitativen Aspekten von Siedlungsentwicklungen.

Die Analyse der Daten und Informationen zum Wohnungsbestand, zur Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung sowie zur räumlichen Entwicklung erfolgt durch Auswertung vorliegender Planungen, Konzepte und anderer Unterlagen, die Bedeutung für die demografischen, wirtschaftlichen und räumlichen Entwicklungen im Versorgungsgebiet haben. Darüber hinaus sind Fachgespräche mit Vertretern aus Planung, Politik, Wirtschaft und Wohnungswirtschaft sowie den statistischen Einrichtungen zu führen. Aus der Analyse können teilräumliche Ergebnisse abgeleitet werden

- zur Bevölkerungsentwicklung,
- zu den durchschnittliche Haushaltsgrößen,
- zur durchschnittliche Wohnfläche pro Einwohner,
- zur Anzahl der Haushalte (in Häusern bzw. Wohnungen) sowie
- zur Anzahl der Arbeitsplätze nach Wirtschaftsbereichen und
- zur Veränderung der Wirtschaft (Struktur; Wertschöpfung).

3.3 Sozialempirische Erhebung zum häuslichen Wasserbedarf

Das vorliegende Konzept einer integrierten Wasserbedarfsprognose weist mehrere grundsätzliche Innovationen auf. Einerseits ist das teilräumliche, auf georeferenzierten Daten beruhende Vorgehen hervorzuheben, das insbesondere räumliche Ebenen zu vernetzen und siedlungsstrukturelle Veränderungen differenziert aufzunehmen vermag. Zusätzlich umfasst das Konzept eine Haushaltsbefragung zur Erhebung sozialempirischer Daten, die eine Verknüpfung von sozialstrukturellen Faktoren und dem häuslichen Wasserverbrauch erlauben. Zweck der Befragung ist es, sozialstrukturelle Faktoren, aber auch Faktoren der Techniknutzung und des Zustandes der Sanitäreinrichtungen im Haushalt in ihrer Auswirkung auf den Wasserverbrauch zu untersuchen.

In Verbindung mit den teilräumlichen Analysen ist es möglich, Zusammenhänge, die die Sozialempirie erbracht, auf Basis georeferenzierter Daten zu überprüfen. Beispielsweise können Zusammenhänge, die auf den Einfluss von Gartenbesitz hinweisen, mit Daten über verfügbare Freiflächen oder Befragungsdaten über den Einfluss der Wohnfläche mit Daten über verfügbare spezifische Bruttogeschossfläche je Einwohner verglichen werden (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Beispielhafte Ergebnisse aus einer sozial-empirischen Erhebung in Hamburg

Einflussfaktor	Spezifischer Wasserverbrauch (pro Person)
Kinder im Haushalt: Haushalte mit Kindern Haushalte ohne Kinder	<p>34,5 m³ 45,8 m³</p>
Wohnfläche pro Person bis 40 m ² 41 – 60 m ² über 60 m ²	<p>38,4 m³ 44,4 m³ 52,1 m³</p>
Wohnform Wohnung Haus	<p>43 m³ 46,6 m³</p>
Garten Haus ohne Garten Haus mit Garten	<p>38,2 m³ 47,9 m³</p>
Alter der Sanitärausstattung in der Toilette unter 15 Jahre 15 Jahre und älter	<p>44,3 m³ 53,7 m³</p>
Spareinstellung- Indikator: z.B. Wasser abstellen beim Zähneputzen Ja Nein	<p>42,9 m³ 49,2 m³</p>

3.4 Online-Erhebung zum gewerblichen Wasserbedarf

Zur Ergänzung der Datengrundlagen des Versorgungsunternehmens zu den Verbrauchergruppen

- Öffentliche Einrichtungen,
- Dienstleistungen, Handel und Handwerk sowie
- Verarbeitendes Gewerbe (Industrie)

konnten mit Hilfe einer Online-Erhebung mit einem relativ geringen Aufwand hilfreiche, branchenspezifische Daten ermittelt werden. Ziel der Erhebung war es, Informationen zu erhalten, die zur Analyse und Prognose des spezifischen gewerblichen Wasserbedarfs notwendig sind. Die Online-Erhebung ist trotz des geringen Aufwandes sehr hilfreich, erfordert allerdings eine flankierende Öffentlichkeitsarbeit, um die Verbraucher zur Teilnahme zu motivieren.

In der Tabelle 2 sind beispielhaft ausgewählte Ergebnisse aufgeführt. Sie liefern spezifische Daten zum spezifischen Wasserbedarf industrieller und gewerblicher Unternehmen und öffentlicher Einrichtungen.

Tabelle 2: Mittelwerte des spezifischen Wasserbedarfs industrieller und gewerblicher Unternehmen und öffentlicher Einrichtungen

Teilnehmer	Spezifischer Wasserverbrauch [m ³ /Jahr]	Dimension
Kindergärten	5,8	m ³ /Kind
Schulen (gesamt)	2,4	m ³ /Schüler
Schule (ganztags)	2,5	m ³ /Schüler
Schulen (halbtags)	1,8	m ³ /Schüler
Krankenhäuser	105,0	m ³ /Bett
Altenheime	80,0	m ³ /(Pflege-)Bett
Arztpraxen	18,8	m ³ /Beschäftigte
Verwaltung (Büros)	12,4	m ³ /Beschäftigte
Hotels	42,0	m ³ /Bett
Handel	0,3	m ³ /Nutzfläche
Produzierendes Gewerbe	48,8	m ³ /Beschäftigte

3.5 Auswertung der Betriebsdatei der Industrie- und Handelskammer

Zur Identifikation der Betriebe im Versorgungsgebiet ist die Auswertung der Betriebsdatei der Industrie- und Handelskammern zweckmäßig. Sie enthält in der Regel folgende Daten enthalten:

- Name; Adresse
- Rechtsform; Betriebsart
- Beschäftigte in Klassen (Klasseneinteilung: 1 bis 3 Beschäftigte, 4 bis 6 Beschäftigte, usw.)

Der adressenbezogene, gewerbliche Wasserbedarf auf einem Grundstück kann damit identifiziert werden.

3.6 Verknüpfung der teilräumlichen und verbraucher-spezifischen Daten und Informationen

Auf der Grundlage dieser Vorgehensweise können unterschiedliche räumliche Bezüge für die verschiedenen teilräumlichen Daten und Informationen hergestellt werden. Für einen Teil der Daten und Informationen, die nur großräumig vorliegen, ist es notwendig, sie mit geeigneten Annahmen auf Teilräume „herunter zu brechen“ („Top-Down-Analyse“). So kann z.B. die für die Gesamtstadt vorliegenden Gewerbe- und Bevölkerungsprognosen auf die für die Wasserbedarfsprognose maßgebenden Teilräume (Stadtteilen; Versorgungszonen) umgelegt werden. Die Abbildung 2 zeigt die wesentlichen Datenverknüpfungen.

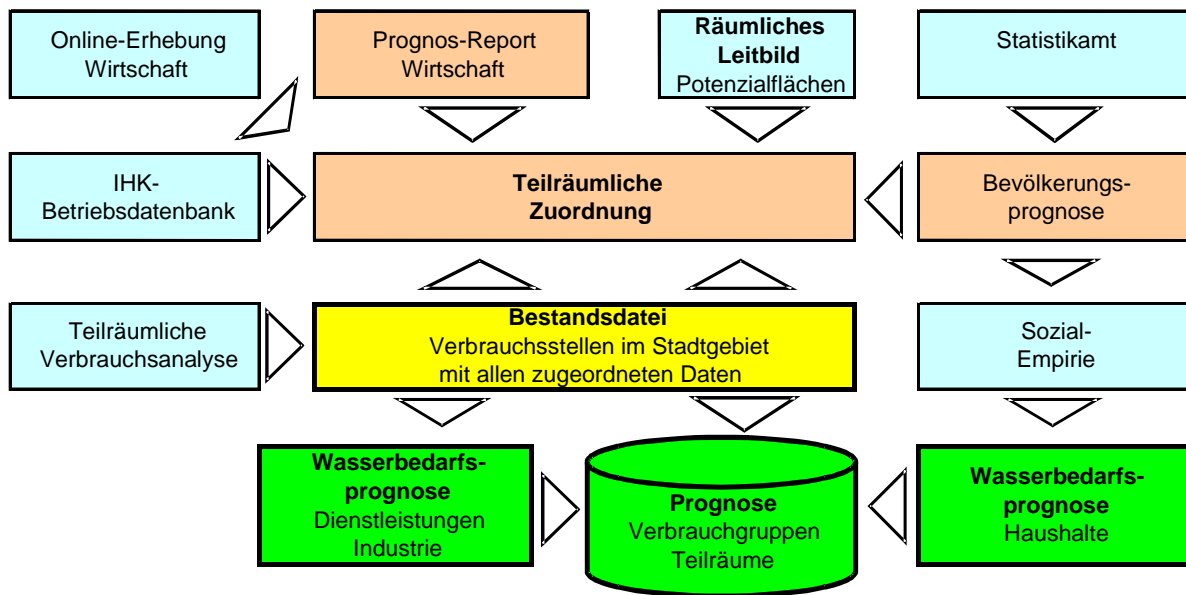


Abbildung 2: Datenverknüpfung für Analyse und Prognose

4 Mittel- und langfristige Prognosen

4.1 Verbrauchergruppen

Mittel- und langfristige Prognosen bilden die zentrale Grundlage aller wesentlichen konzeptionellen und betrieblichen Aufgaben von Unternehmen. Dazu gehören die rechtliche und technische Sicherstellung der erforderlichen Ressourcen, die Bereitstellung und der Betrieb der Anlagen, die Kalkulation von Wasserpreisen aber auch die Öffentlichkeitsarbeit.

Es ist zweckmäßig, die Prognosen für die wesentlichen Verbrauchergruppen getrennt durchzuführen, weil sie jeweils unterschiedliche Bezugsgrößen, Einflussfaktoren und Entwicklungstendenzen aufweisen. Die in der BGW-Wasserstatistik verwendete Verbrauchergruppen

- Haushalten und Kleingewerbe,
- Industrie,
- Sonstige Verbraucher und
- Weiterverteiler

sind in der Regel weiter zu differenzieren. Die mögliche Abgrenzung der Verbraucher wird jedoch durch die vorliegenden Daten begrenzt, sofern nicht sie durch die Einbindung anderer Informationsquellen ergänzt werden kann.

Es sollten folgende Verbrauchergruppen zu unterschieden werden:

Haushalte

- Ein- und Zweifamilienhäuser
- Wohnungen in Mehrfamilienhäuser (mit bzw. ohne Wohnungswasserzähler)

Industrie (Verarbeitendes Gewerbe)

- nach Branchen

Gewerbe

- Handel
- Handwerk
- Beherbergungsbetriebe
- Verkehrsbetriebe
- Dienstleistungen

Öffentliche Einrichtungen

- Verwaltungen
- Bildungseinrichtungen
- Kinder- und Jugendbetreuungseinrichtungen
- Heil- und Pflegeeinrichtungen
- Sportanlagen
- Grünanlagen

Sonstige Verbraucher

Eigenbedarf und Verluste

Die Identifikation und quantitative Bestimmung der Einflussfaktoren erfolgt methodisch anhand des in Abbildung 3 dargestellten Vorgehens.

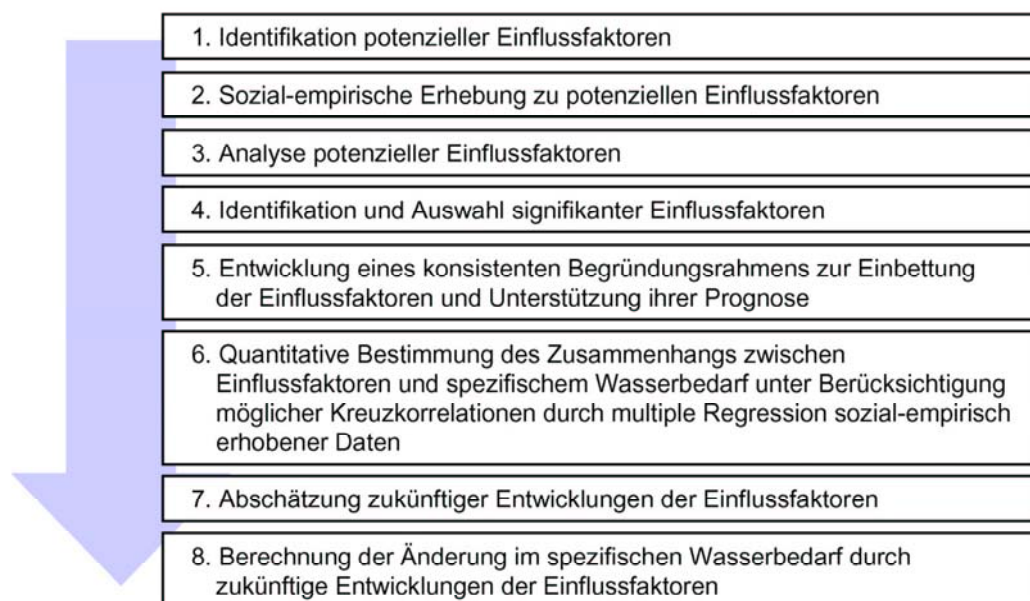


Abbildung 3: Identifikation, Analyse und Prognose der Einflussfaktoren auf den Wasserbedarf

4.1.1 Haushalte

Die zentrale Bezugsgröße des Wasserbedarfs der Haushalte sind die Einwohner E. Im Zusammenhang mit der Entwicklung des häuslichen Wasserbedarfs sind die Einwohnerentwicklung, die technischen Veränderungen (Haushaltsgeräte; Sanitärtechnik etc.) und die Verhaltensweisen der Nutzer von Bedeutung. Für die zukünftige Entwicklung des Wasserbedarfs sind die jeweils maßgeblichen Faktoren des spezifischen Wasserbedarfs zu identifizieren und fortzuschreiben.

In Verbindung mit dem teilräumlichen Vorgehen im Stadtgebiet setzt sich die Prognose des Wasserbedarfs der Haushalte aus jeweils stadtteilbezogenen Prognosen zur Bevölkerungsentwicklung sowie zu Einflussfaktoren auf den spezifischen Wasserbedarf zusammen. Hierbei wird im Versorgungsgebiet die voraussichtliche Entwicklung im Wohnbestand und im Neubau einerseits sowie die Entwicklung in „Ein- und Zweifamilienhausgebieten“ und in „Wohnungen von Mehrfamilienhausgebieten bzw. Wohnanlagen“ differenziert betrachtet.

4.1.2 Industrie

Die Prognose des industriellen Wasserbedarfs baut auf den georeferenzierten Daten zur Wasserabgabe und brachenbezogenen Informationen auf. Anhand der voraussichtlichen Entwicklung der Beschäftigten und der Bruttowertschöpfung sowie der wahrscheinlichen Veränderung des spezifischen Bedarfs errechnet sich der zukünftige Wasserbedarf der Industrie. Beide Faktoren werden getrennt prognostiziert. Die Veränderung der Anzahl der Beschäftigten und der Bruttowertschöpfung wird anhand von vorliegenden, aktuellen Wirtschaftsprognosen bestimmt und unter Berücksichtigung der Stadtentwicklung teilräumlich zugeordnet.

Die Veränderung des spezifischen Wasserverbrauchs wird auf Grundlage der Entwicklung der Wertschöpfung pro Beschäftigtem und der voraussichtlichen Entwicklung wassersparender Technologien im Produktionsprozess abgeschätzt.

4.1.3 Gewerbe

Die Verbrauchergruppe Gewerbe (Tertiärer Sektor) bildet einen sehr heterogenen Struktur. Sie umfasst Bereiche wie beispielsweise private und öffentliche Dienstleistungsbetriebe oder Groß- und Einzelhandelsbetriebe, in denen Trinkwasser nahezu ausschließlich als „Belegschaffwasser“ verwendet wird und Beherbergungsbetriebe (z.B. Hotels), die bezogen auf die Anzahl der Beschäftigten eine sehr hohen spezifischen Wasserbedarf haben können.

Die Prognose des gewerblichen Wasserbedarfs baut ebenso wie die Prognose des industriellen Wasserbedarfs auf den georeferenzierten Daten zur Wasserabgabe und brachenbezogenen Informationen auf. Anhand der voraussichtlichen Entwicklung der Beschäftigten, der Bruttowertschöpfung oder anderer Bezugsgrößen (z.B. Bettenanzahl; Anzahl der Übernachtungen) sowie der wahrscheinlichen Veränderung des spezifischen Bedarfs errechnet sich der zukünftige Wasserbedarf der Verbrauchergruppe „Gewerbe“. Die Veränderung der Bezugsgrößen wird anhand vorliegender Wirtschafts- oder Fachprognosen bestimmt und unter Berücksichtigung der Stadtentwicklung teilräumlich zugeordnet.

Die Ergebnisse von Online-Erhebungen können wertvolle Hinweise über die spezifische Situation der Verbrauchergruppe „Gewerbe“ im Versorgungsgebiet liefern.

4.1.4 Öffentliche Einrichtungen

Auch die Verbrauchergruppe „Öffentliche Einrichtungen“ ist mit Verwaltungen, Bildungseinrichtungen, Kinder- und Jugendbetreuungseinrichtungen, Heil- und Pflegeeinrichtungen, Sport- und Grünanlagen sehr heterogen zusammengesetzt. Zur Analyse und Prognose des Wasserbedarfs dieser Verbrauchergruppe ist eine zusätzliche Erhebung ebenso wie im industriellen und gewerblichen Bereich hilfreich.

Die Prognose des Wasserbedarfs in öffentlichen Einrichtungen beruht auf den Angaben des Versorgungsunternehmens über die Wasserabgabe. Der spezifische, stadtteilbezogene Wasserbedarf wird auf die Einwohnerzahl bezogen. Der Wasserbedarf der öffentlichen Einrichtungen wird auf die Bevölkerung bezogen. Die im Zusammenhang mit der Prognose des Haushaltswasserbedarfs durchgeführte Vorausschätzung der Bevölkerungsentwicklung wird hierbei übernommen. Die Veränderung des spezifischen Bedarfs wird durch den voraussichtlichen Einsatz wassersparender Technologie bestimmt.

4.1.5 Sonstige Verbraucher

Mit Sonstigen Verbrauchern werden diejenigen bezeichnet, die sich nicht den abgegrenzten Verbrauchergruppen zuordnen lassen. Das Verbraucherverhalten und der Zweck des Wassereinsatzes sind in der Regel nicht näher definierbar und daher nur eingeschränkt prognosefähig. Sofern der Anteil dieser Verbrauchergruppe an der Wasserabgabe des Versorgungsunternehmens zu beachten ist, sollte eine Detailuntersuchung erfolgen.

4.2 Das integrierte Prognosemodell für die mittel- und langfristige Prognose

Die Zusammenführung der Ergebnisse aus ingenieurtechnischen, sozialwissenschaftlichen und siedlungsräumlich differenzierten Auswertungen erfolgt im Rahmen eines integrierten Prognosemodells. Hierzu werden alle relevanten Einflüsse auf den Wasserbedarf sowie begründete Abschätzungen zu deren zukünftiger Entwicklung miteinander verknüpft. Beispiele von relevanten Einflüssen sind die Entwicklung von Bevölkerung und Beschäftigten, Veränderungen der Siedlungsstruktur bezüglich Wohnbestand und Neubaugebieten, Einsparpotenziale durch Verhalten, technische Modernisierung und Innovationen, sozialräumliche Faktoren wie Haushaltsgröße und spezifische Wohnfläche, Einflüsse des Klimawandels sowie Veränderungen der Wassereffizienz in gewerblichen und industriellen Nutzungen.

Zur Bewertung der zukünftigen Entwicklung des Wasserbedarfs in unterschiedlichen, denkbaren Entscheidungskontexten umfasst das integrierte Prognosemodell eine Implementierung verschiedener Szenarien. Mit ihrer Hilfe können Wirkungen von Variationen in den Einflüssen im Rahmen von bedingten Analysen („wenn – dann“) ermittelt und somit ein Korridor einer plausiblen und konsistenten Entwicklung des Wasserbedarfs bestimmt werden.

Die Umsetzung des integrierten Prognosemodells erfolgt als Tabellenkalkulation in *Microsoft® Office Excel*. In dem Modell sind alle zur Wasserbedarfsprognose verfügbaren und relevanten Daten eingebunden sowie Analyseergebnisse in Form von quantifizierten Einflussfaktoren und parametrisierten Annahmen zusammengeführt. Das integrierte Prognosemodell erlaubt dem Nutzer einen direkten Vergleich der szenarienbasierten Prognosen und ermöglicht ihm im Rahmen eines frei wählbaren Szenarios eigene Anpassungen von Parametern vorzunehmen und auf ihre zu erwartenden Konsequenzen zu prüfen. Die Details der Umsetzung des integrierten Prognosemodells sind in folgender Übersicht wiedergegeben:

4.2.1 Modulares Vorgehen

Die Prognose des Wasserbedarfs erfolgt zunächst modular bezüglich der Aufteilung des Versorgungsraums in „Stadtgebiet & Umlandgemeinden“, „Weiterverteiler“ und die Bedarfsposition „Eigenbedarf und Verluste“. Für das Stadtgebiet und die Umlandgemeinden wird zusätzlich zwischen der Bevölkerungsprognose, der Prognose von Haushaltskunden und der Prognose von Nicht-Haushaltskunden (Industrie, Gewerbe/Dienstleistungen, öffentliche Einrichtungen, Sonstige) unterschieden. Daraus ergeben sich im Rahmen der modularen Struktur separate Teil-Prognosen.

4.2.2 Teilräumliches Vorgehen

Für das Stadtgebiet werden die Teil-Prognosen auf der Basis einer teilräumlich differenzierten Berechnung auf der Skala der Stadtteile, für die Umlandgemeinden auf der Skala der Gemeinden, für die Weiterverteiler differenziert nach dem jeweiligen Versorgungsunternehmen durchgeführt. Die Berücksichtigung eines so genannten Leitbands¹ ermöglicht im Zusammenhang mit dem teilräumlichen Vorgehen eine Zuordnung und Aggregation des

¹ Als „Leitband“ wird ein Übertragungsschema der Stadtteile, Gemeinden und Weiterverteiler auf die Versorgungszonen bezeichnet.

Verbrauchs auf die Versorgungszonen. Das teilräumliche Vorgehen erlaubt u.a. eine deutlich differenziertere Berücksichtigung des Einflusses von Haushaltsgrößen und siedlungsstrukturellen Charakteristika wie Gartenflächen als dies beim Rückgriff auf gesamtstädtische Mittelwerte möglich wäre.

4.2.3 Zeitschema

Als zeitliches Schema der Prognose wird eine Abfolge von 5-Jahres-Schritten als sinnvoll erachtet. Die Festlegung des Basisjahres des Zeitschemas, also des Jahres auf das sich die prognostizierten Veränderungen beziehen, erfolgt auf Grundlage des vorliegenden Datenbestands.

4.2.4 Integration

Die Zusammenführung der Teil-Prognosen zur Gesamtprognose für das Versorgungsgebiet erfolgt mit einer Übersicht zum prognostizierten Wasserbedarf unterschiedlicher Abnehmergruppen bzw. Bedarfspositionen (Haushalte, Gewerbe, Industrie, öffentliche Einrichtungen, Sonstige, Eigenbedarf und Verluste). Zusätzlich kann nach Bedarf eine Aufschlüsselung des prognostizierten Bedarfs hinsichtlich seiner Verteilung auf die Versorgungszonen durchgeführt werden.

4.2.5 Parametrisierung

Die der Prognose zugrunde liegenden Annahmen werden durch eine Parametrisierung dem Nutzer des Prognosemodells zugänglich gemacht. Mit Änderungen der empirisch sowie fachlich begründet festgelegten Parameter können gezielt Wirkungen veränderter Rahmenbedingungen oder neuer Annahmen untersucht werden. Eine besondere Gruppe von Parametern stellen die sozial-empirisch ermittelten Einflussfaktoren des Haushaltswasserbedarfs dar. Durch sie wird die Wirkung veränderter Zusammenhänge zwischen sozialstrukturellen Bedingungen und daraus folgenden Bedarfsanforderungen durch spezifisch wasserbezogene Verhaltensweisen abgeschätzt.

4.2.6 Szenarien

In Verbindung mit der Parametrisierung erlaubt die Implementierung von Szenarien eine Bewertung alternativer Entwicklungen zu spezifischen Konstellationen zukünftiger Rahmenbedingungen (demographisch, technisch, klimatisch und verhaltensbezogen). Ausgewählte Szenarien werden durch die Ergebnisse der Auswertung vorhandener Daten- und Informationsbestände festgelegt. Die Szenarien zeichnen letztlich einen Korridor der denkbaren langfristigen Entwicklung des Wasserbedarfs.

4.2.7 Steuerung durch den Nutzer

In Ergänzung zu den bereits vordefinierten Szenarien wird ein frei veränderbares Szenario implementiert. Dieses Szenario ermöglicht dem Nutzer des integrierten Prognosemodells das „Durchspielen“ eigener alternativer Konstellationen von Parametern, die an neue Entwicklung und spezielle individuelle Bedürfnisse und Fragestellungen angepasst sind.

4.2.8 Sensitivitätsanalyse

Mit einer ergänzenden Analyse der Sensitivitäten der Parameter kann ihr Einfluss auf die Prognose des Wasserbedarfs bestimmt werden. Die Stabilität der Prognoseergebnisse unter Veränderungen der zugrunde liegenden Annahmen kann auf diese Weise einer Prüfung unterzogen werden.

4.2.9 Ergebnisdarstellung

Umfangreiche grafische Ergebnisdarstellungen zeigen unterschiedliche Aspekte der Gesamtprognose wie auch der Teil-Prognosen. Im vorgegebenen 5-Jahres-Zeitschema werden u.a. Differenzierungen der zukünftigen Bedarfsentwicklung nach Bedarfspositionen, Versor-

gungszonen und Verbrauchergruppen im Stadtgebiet aufgezeigt. Ebenfalls dargestellt werden die der Prognose zugrunde liegende Entwicklung von Bevölkerung und Beschäftigten, sowie die letztlich berechneten spezifischen Wasserbedarfe für Haushalte, Industrie, Gewerbe und öffentliche Einrichtungen.

5 Multi-faktorielle Tagesprognosen

Liegen für einen Zeitraum von mehreren Jahren Daten zu täglichen Wasserabgabemengen sowie tägliche Temperatur- und Niederschlagswerte vor, so kann unter zusätzlicher Berücksichtigung kalendarischer Einflussfaktoren ein multi-faktorielles Tages-Prognosemodell für die tägliche Wasserabgabemenge entwickelt werden. Einem solchen Tages-Prognosemodell kommt in verschiedenen Anwendungsbereichen eine wertvolle Unterstützungsfunktion zu. Insbesondere die ersten beiden Anwendungsbereiche stehen in unmittelbarem Bezug zur einer mittel- und langfristigen Wasserbedarfsprognose:

- in der Analyse extremer Bedarfsanforderungen (Bedarfsspitzen) mit der Aufklärung von Ursachenkomplexen, der Abschätzung von Rest-Unsicherheiten und der Ermittlung von Spitzenfaktoren;
- in der Wirkungsabschätzung des Klimawandels, indem es durch Simulation mit klimabedingt veränderten Temperatur- und Niederschlagsverteilungen eine Analyse der Auswirkungen auf den künftigen Wasserbedarf erlaubt;
- in der betrieblichen Planung und Steuerung durch die Bereitstellung von Informationen über zu erwartende Schwankungen der täglichen Wasserabgaben mit den entsprechenden Konsequenzen zur Bereitstellung und Vorhaltung entsprechender Wasser- und ggf. auch Energiemengen.

Das Tages-Prognosemodell wurde in Form eines nichtlinearen Modellierungsverfahrens realisiert. Eine Umsetzung des Modells erfolgte für das Versorgungsgebiet der Hamburger Wasserwerke mit einem multi-faktoriellen Modell, in dem spezielle Einflussfaktoren auf der Basis nichtlinearer Komponenten einbezogen wurden (s. Abbildung 4).

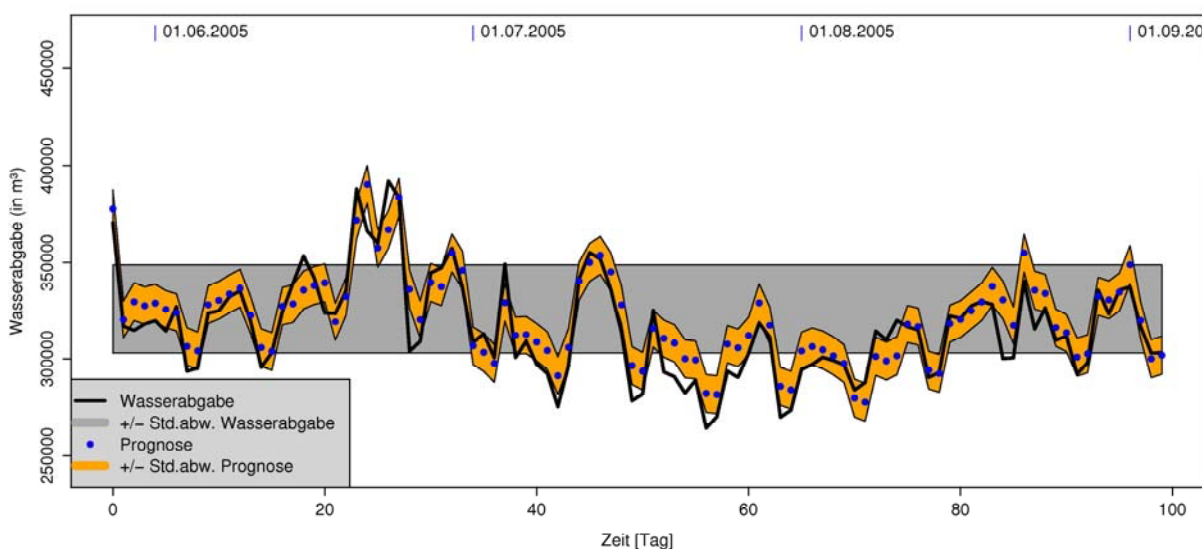


Abbildung 4: Prognose der täglichen Wasserabgabe in einem Zeitfenster von etwa drei Monaten (Beispiel Hamburg)

Als kalendarische Einflussfaktoren dienen der laufende Tag, Monat, Wochentag, Ferien-/Feier-/Normaltag, als meteorologische Einflussfaktoren die maximale Temperatur, das Nie-

derschlagsmittel von Hamburg sowie die Ableitung der Dauern von Trockenperioden sowie kombinierten Trocken- und Hitzeperioden. Hierbei wurde zusätzlich durch ein als Lag-Optimierung bezeichnetes Verfahren berücksichtigt, dass insbesondere im Fall der Temperatur und des Niederschlags nicht nur aktuelle Tageswerte, sondern auch Entwicklungen über eine längere Zeiträume einen erheblichen Einfluss auf die Wasserabgabe aufweisen. Eine geeignete Reichweite in die Vergangenheit kann unter Optimalitätskriterien bezüglich der Prognosegüte durch angepasste Optimierungsverfahren ermittelt werden.

6 Szenarien

Die mit Hilfe des Prognosemodells „errechnete“ Entwicklung des Wasserbedarfs beruht auf der Annahme, dass keine „Entwicklungssprünge“ eintreten, die zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung nicht absehbar sind. Eine Möglichkeit, denkbare Einflüsse, die sich aus „Entwicklungssprüngen“ ergeben könnten, abzuschätzen, sind Szenarien. Sie erlauben es, in einem mehr oder weniger spekulativen Ansatz, die Prognoseergebnisse zu modifizieren. Für die voraussichtliche Entwicklung des Wasserbedarfs können die Auswirkungen des „Klimawandels“, der Gartenbewässerung, eines „demografische Wandels“, einer Veränderung des Verbraucherverhaltens sowie von technischen Innovationen von Bedeutung sein.

6.1 „Klimawandel“

Der Klimawandel kann Auswirkungen auf den Wasserbedarf verursachen. Um Vorhersagen zu Veränderungen der mittleren Temperatur und des Niederschlags zu erhalten, kann man zwei Arten von regionalen Klimamodellen verwenden, die vom Umweltbundesamt genutzt werden: das Klimamodell WETTREG von der Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH und das Klimamodell REMO vom Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M). Beide haben das globale Klimamodell ECHAM5-MPI-OM des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI-M) in Hamburg zur Grundlage. Es liegen Rechenergebnisse bis zum Jahr 2100 vor. Die Ergebnisse werden auf den im Rahmen der Wasserbedarfsprognose relevanten Zeitraum durch Downscaling übertragen. Die Wirkungsabschätzung für den Wasserbedarf erfolgt durch Simulation auf Basis des multi-faktoriellen Tages-Prognosemodells.

6.2 Gartenbewässerung

Der Anteil der jährlichen Trinkwasserabgabe für die Gartenbewässerung kann anhand der Verrechnung der getrennt erfassten Wasserzähler für die Gartenbewässerung für Jahre mit einem bekannten Niederschlag in der Vegetationsperiode ermittelt werden. Er liegt in Wohngebieten bei mittleren Niederschlägen bei rund 10 % der Wasserabgabe an die Verbraucher. Aufgrund von langjährigen statistischen Nachweisen können näherungsweise folgende Verhältnisse angenommen werden:

- Gartenbewässerung in „Nassjahren“ (extrem hohe Niederschläge während der gesamten Vegetationsperiode) = Mittelwert (m^3/Jahr) - 50 %
- Gartenbewässerung in „Trockenjahren“ (extrem niedrige Niederschläge während der gesamten Vegetationsperiode) = Mittelwert (m^3/Jahr) + 50 %

Diese Mengen werden für den gesamten Prognosezeitraum auf die Referenzprognose bezogen. Wann und wie häufig „Trocken-“ bzw. „Nassjahre“ auftreten ist nicht bekannt, deswegen ergibt sich über die Prognose ein unabhängiger Korridor, der nur von den Niederschlägen abhängt.

6.3 Bevölkerungsentwicklung und „demografischer Wandel“

Die voraussichtliche Bevölkerungsentwicklung in Versorgungsgebieten kann durch Auswertung von Bevölkerungsprognosen der statistischen Ämter oder aus Stadtentwicklungskonzepten übernommen werden. Es empfiehlt sich, in der Referenzprognose von mittlere Wer-

ten auszugehen und mögliche Abweichungen in Szenarien zu simulieren. Von gewisser Bedeutung für die Entwicklung des spezifischen häuslichen Wasserbedarfs sind in diesem Zusammenhang auch die Altersstruktur der Bevölkerung und die voraussichtliche Haushaltsgröße. Wichtige aktuelle Phänomene sind die Zunahme des Anteils älterer Menschen an der Gesamtzahl der Bevölkerung sowie die Verringerung der Haushaltsgröße. Teilräumliche Daten und Informationen zu diesen Aspekten liegen in der Regel bei den Statistischen Ämtern vor oder können aus Unterlagen zur Stadtentwicklung entnommen werden.

6.4 Verbraucherverhalten

Eine brauchbare Grundlage für die Annahmen zum Verbraucherverhalten liefert eine sozial-empirische Erhebung, die die Ausgangspunkte für die Referenzprognose liefert. Die zukünftigen Verhaltensmuster hängen von unterschiedlichen gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und sozialen Faktoren ab. Einerseits von gesellschaftlichen Diskussionen – z.B. Ökologie – die Werthaltungen beeinflussen, aber auch von ökonomischen Faktoren wie der Preisgestaltung für Wasser und Abwasser und der wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung ab. Szenarien zum „Verbraucherverhalten“ ergeben somit Anhaltspunkte über die Zuverlässigkeit der Wasserbedarfsprognose. Es kann von verschiedenen Varianten ausgegangen werden: In einer Variante nimmt das Sparverhalten gegenüber der Referenzprognose zu, in der anderen Variante nimmt das Sparverhalten ab.

6.5 Technische Potenziale zur Trinkwassereinsparung und Trinkwassersubstitution

Der Wasserbedarf von Haushalten, Betrieben und öffentlichen Einrichtungen umfasst eine Reihe sehr unterschiedlicher Verwendungszwecke, die nur teilweise Trinkwasserqualität erfordern wie Trinken, Kochen, Geschirrspülen, Wäschewaschen, Körperpflege oder die Herstellung von Lebensmitteln, während andere Verwendungszwecke geringeren Qualitätsanforderungen haben wie Toilettenspülung, Reinigung von Anlagen und Geräten oder Gartenbewässerung.

Beispiele zur Verringerung des Trinkwassereinsatzes in Haushalten sind:

- Verringerung der Spülmengen für die Toilettenspülung
- Reduzierung der Durchflussmengen von Dusch- und Waschtischarmaturen
- Einsparung von Trinkwasser im Haushaltsgerätebereich
- Einsatz von Regenwasser bei der Bewässerung

Auch im gewerblichen Bereich sind durch

- die Umstellung von Produkten und Produktionsverfahren,
- geregelte Wassernutzung in der Produktion und
- Kreislaufführung/Mehrfachnutzung

Einsparungen beim Wasserverbrauch möglich. Neben der reinen Spartechnologie wirken sich Substitutionsmaßnahmen auf den zukünftigen Trinkwasserverbrauch aus. Traditioneller Substitutionsbereich von Trinkwasser ist die Bewässerung von Gärten, Grünflächen und Parkanlagen durch Niederschlagswasser.

Diesem Bereich sind wirtschaftliche Grenzen gesetzt. „Unwirtschaftlichen“ Maßnahme wären aber dann begründet, wenn die durch die entsprechende Wassernutzung verursachten Umweltauswirkungen bzw. volkswirtschaftliche Kosten die Größenordnung der Kostendifferenz zwischen den mobilisierten Einsparungen und den „Innovationskosten“ erreichen. Im Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels auf die verfügbaren Wasserressourcen und den regionalen Wasserbedarf sowie den Anforderungen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie sind die Möglichkeiten der Innovationen zur Trinkwassereinsparung und zur Trinkwassersubstitution regional ggf. neu zu bewerten.

7 Nutzenpotenziale von Wasserbedarfsprognosen

Teilräumliche und sachlich differenzierte, integrierte Wasserbedarfsprognosen bilden eine Grundlage für die Wasserrechtsverfahren der Wassergewinnungsanlagen. Im Rahmen der Erstellung der Prognose und aus den vorliegenden Ergebnissen können eine Reihe weiterer Schlussfolgerungen gezogen werden, die insgesamt auf eine betriebliche Optimierung bei stagnierendem Wasserbedarf abzielen. Maßgebliche Zielsetzungen der Optimierung sind

- die Verringerung bzw. Stabilisierung der Kosten,
- die Minimierung der Umweltauswirkungen der Wassernutzung und
- die Verbesserung der Dienstleistungsqualität.

Folgende Maßnahmenbündel können zur Erreichung dieser Zielsetzungen beitragen:

- a) Entwicklung eines integrierten Informations-Managements
- b) Schritte zu einer effizienten Ressourcen-Nutzung
- c) Sicherstellung einer nachhaltigen Substanzerhaltung
- d) Durchführung einer dienstleistungsbezogenen Betriebsführung

Die für eine Analyse und Prognose benötigten Daten sind weitgehend auch für die betriebliche Optimierung erforderlich und fördert einen geregelten betriebsinternen Datenaustausch. Das trifft auch für die regelmäßige Einbeziehung und Fortschreibung aus externen Datenquellen (z.B. Statistische Ämter, Einwohnermeldeämter, und Industrie- und Handelskammern) zu. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Erstellung und Verwendung eines geografischen Informationssystems zur Verschneidung von Daten mit unterschiedlichen Bezügen.

Das Regime der Wasserförderung und Wasserverteilung kann auf der Grundlage von teilräumlichen Analysen und Prognosen überprüft werden. Dabei können betriebswirtschaftliche Aspekte und umweltökonomische (volkswirtschaftliche) Aspekte, die in der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Form der Umwelt- und Ressourcenkosten angesprochen werden, berücksichtigt werden.

Eine nachhaltige Substanzerhaltung ist nur dann wirtschaftlich möglich, wenn teilräumliche Informationen zum Wasserbedarf vorliegen. Die im Rahmen von Prognosen durchgeführte georeferenzierte Zuordnung des Wasserbedarfs zu einzelnen Versorgungsbereichen erleichtert die betrieblichen Entscheidungen zur Substanzerhaltung und zur Netzpflege.

Eine dienstleistungsbezogene Betriebsführung zielt darauf ab, die „Kunden“ gut zu bedienen. Dazu gehört neben der Lieferung guter und preisgünstiger Produkte auch die Kundenberatung. Zusätzlich zu den vorliegenden Daten und Informationen sind als Grundlage auch die Ergebnisse empirischer Erhebungen verwendbar.