

# Bewertung von Trinkwasserversorgungsnetzen – neue Kennzahlen: Systemindex Trinkwassernetz (SIT) und Nachhaltigkeitsindex ( $I_N$ )

Trinkwasserversorgung, Trinkwasserversorgungsnetz, Kennzahl, Bewertung, Nachhaltigkeit

Lars Tennhardt

*Die nachhaltige Bewirtschaftung von Versorgungsnetzen spielt unter dem zunehmenden Kostendruck auf die Versorgungswirtschaft eine essenzielle Rolle. Eine fehlerhafte Einschätzung des Netzzustandes und unzureichende Investitionen werden durch die Langlebigkeit der Netze erst in der Zukunft sichtbar. Ein aufgelaufener Investitionsstau bei einem schlechteren Netzzustand führt zu erhöhten Betriebskosten, Qualitätsbeeinträchtigungen bis hin zur Gefährdung der Versorgungssicherheit und ist nur mittelfristig mit hohem finanziellen Aufwand zu beheben. Die hier vorgestellte, neue Methode ermöglicht es,*

1. den Netzzustand anhand etablierter Kennzahlen zu beschreiben, um
2. mit den aktuellen Rehabilitationsraten die Nachhaltigkeit bzw. mittelfristige Entwicklung des Netzzustandes beurteilen zu können, damit
3. in Abhängigkeit von der zukünftigen, gewünschten Entwicklung des Netzzustandes das benötigte Investitionsbudget abgeschätzt werden kann.

## 1. Beschreibung des Netzzustandes – Systemindex Trinkwassernetz (SIT)

Der Systemindex Trinkwassernetz (SIT) als eine neue, aggregierte Kennzahl beschreibt den Zustand eines Trinkwassernetzes mittels einiger bereits etablierter Kennzahlen (hier: Teilkennzahlen) und kann bei einer netzübergreifenden Festlegung der Gewichtungsfaktoren und bei Anerkennung einheitlicher Definitionen für einen Vergleich des Anlagegutes „Trinkwassernetz“ zwischen unterschiedlichen Versorgern genutzt werden. Er bietet ebenso die Möglichkeit, ein auf das spezielle Versorgungsgebiet samt gegebenen Randbedingungen angepasstes Monitoring aufzubauen, gegebenenfalls

## Assessment of Drinking Water Distribution Networks – new Performance Indicators: System Index “Drinking Water Distribution Network” (SIT) and “Sustainability Index” ( $I_N$ )

*The sustainable management of Drinking Water Distribution Networks (DN) is of utmost importance especially due to today's increasing cost pressure. Since the DN have a long life cycle, mistakes in estimation of the networks' state and underinvestment will only be recognized in the future. Insufficient investment in a deficient network will cause increased costs of operation, deterioration of water quality and increased risks for the water supply. Such a situation is only remediable in the long or medium-term and through large expenditures. The new procedure proposed in this paper makes it possible*

1. to describe the current state of the DN using established performance indicators
2. in order to use the current condition and rehabilitation rates to forecast the medium-term sustainability
3. to then be able estimating the investment budget required to meet the target development of the state of the network.

unter Nutzung von unternehmensindividuellen Gewichtungsfaktoren. Innerhalb des Monitorings kann ein Trend zur Netzzustandsveränderung schnell erkannt und darauf reagiert werden. Für eine Ursachenermittlung sind jedoch stets die für den Trend verantwortlichen Teilkennzahlen zu untersuchen, da die Ursachen unter Umständen auch außerhalb des eigentlichen Netzzustandes liegen können.

### 1.1 Teilkennzahlen des Systemindex Trinkwassernetz

Der Systemindex Trinkwassernetz setzt sich aus folgenden, für den Zustand bzw. die Qualität eines

Trinkwassernetzes relevanten Teilkennzahlen zusammen:

- Wasserverluste (beschrieben durch den Infrastructure Leakage Index (ILI))
- Schadensrate an Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen (THuVL)
- Schadensrate an Anschlussleitungen (AL)
- Schadensrate an Armaturen (AR)
- Braunwasserrate (Braunwassermeldungen je 100 km Gesamtnetz)
- Grenzwertüberschreitungen nach Trinkwasserverordnung

Auf die Implementierung von Druckmangel als Teilkennzahl zur Beschreibung des Netzzustandes wurde verzichtet, da dies lediglich den Komfort der Benutzung einschränkt. Bei der Bereitstellung von Löschwasser über das Trinkwassernetz wäre Druckmangel relevant, wird aber hier wegen der sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen bei den einzelnen Versorgern nicht betrachtet.

Die Datenerhebung und Berechnung der Kennzahlen erfolgt bezogen auf ein Jahr – i. d. R. das Kalenderjahr.

#### 1.1.1 Wasserverluste

Die realen Wasserverluste werden nach dem neuen DVGW-Arbeitsblatt W 392 (Gelbdruck, vgl. [1]) über eine Wasserverlustbilanzierung ermittelt und anhand der relevanten Netzparameter (Anzahl und Länge der Anschlussleitungen, mittlerer Netzdruck) als Infrastructure Leakage Index (ILI) beschrieben. Um die Vergleichbarkeit von Versorgern auch mit unterschiedlich hohen Netzeinspeisemengen herzustellen, wird für die Ermitt-

lung des SIT der normierte ILI als ILI-Äquivalenzwert ( $ILI_{\text{äq}}$ ) in die Berechnung eingebracht [1]. Hierbei ist von jedem Anwender je nach den im Versorgungsgebiet gegebenen Verhältnissen entweder der ILI oder bei schnell sichtbar werdenden Schäden (schnelles „Hochkommen“ des Wassers bei z. B. Sandboden) der spezielle ILI ( $ILI_{\text{spez}}$ ) anzuwenden.

Eine Bewertung mit dem Äquivalenzwert des spezifischen realen Wasserverlustes ( $q_{\text{VR,äq}}$ ) wäre ebenfalls möglich. Aufgrund der Berücksichtigung von mehr netzspezifischen Strukturparametern und der damit besseren Eignung des ILI als Kennzahl für die Wasserverluste, wird diese Variante aber nicht weiter verfolgt.

Die Bewertung des ILI-Äquivalenzwertes erfolgt nach Tabelle 2 des neuen DVGW-Arbeitsblattes W 392 (Gelbdruck, [1]) und ist in **Tabelle 1** dargestellt.

#### 1.1.2 Schadensrate an Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen ( $SR_{\text{THuVL}}$ )

Die Schadensrate an Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen ( $SR_{\text{THuVL}}$ ) ist definiert als Anzahl der Schäden an Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen geteilt durch die Gesamtlänge dieser Leitungen. Da Transportleitungen i. d. R. außerhalb des Versorgungsgebietes liegen, wird empfohlen, sie nur dann zu berücksichtigen, wenn diese in Analogie zum neuen DVGW-Arbeitsblatt W 392 [1] zum Bilanzierungsgebiet des Trinkwassernetzes gehören.

Die Bewertung der Schadensrate ist aus **Tabelle 2** ersichtlich und erfolgt nach DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 [2].

Ungenauigkeiten bei der Zustandsbewertung über die Schadensrate ergeben sich einerseits durch die typische Badewannenkurve der Schadensentwicklung an jungen Leitungen bedingt durch Einbau- oder Materialfehler und andererseits durch die unterschiedlichen Schadensraten an Transport- und Hauptleitungen (TuHL), die gewöhnlich deutlich weniger Schäden aufweisen als die Versorgungsleitungen (VL). Für eine Fortentwicklung des SIT wäre eine Differenzierung zwischen TuHL und VL sinnvoll, wenn zukünftig auch im DVGW-Regelwerk bei Schadensraten zwischen TuHL und VL differenziert werden würde. Da einige Versorger bisher nicht zwischen Schäden an TuHL und VL unterscheiden, wird vorerst nur die Gesamtschadensrate an THuVL in den SIT implementiert.

**Tabelle 1.** Bewertung des ILI-Äquivalenzwertes nach neuem DVGW-Arbeitsblatt W 392 ([1], Tabelle 2).

$ILI_{\text{äq}}$	Bewertung
< 1,0	gering (Daten prüfen)
< 1,5	gering
1,5 bis < 2,5	mittel
2,5 bis < 3,5	hoch
≥ 3,5	sehr hoch

**Tabelle 2.** Bewertung von Schadensraten an Haupt- und Versorgungsleitungen in Rohrnetzen nach DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 [2].

Bereiche	Schadensraten (Schäden mit Wasseraustritt; ohne Armaturen)	
	Haupt- und Versorgungsleitungen (Schäden je km und Jahr)	Anschlussleitungen (Schäden je 1000 Anschlüsse und Jahr)
Niedrige Schadensrate	≤ 0,1	≤ 5
Mittlere Schadensrate	> 0,1 bis ≤ 0,5	> 5 bis ≤ 10
Hohe Schadensrate	> 0,5	> 10

### 1.1.3 Schadensrate an Anschlussleitungen ( $SR_{AL}$ )

Die Schadensrate an (Haus-) Anschlussleitungen ( $SR_{AL}$ ) ist definiert als Anzahl der Schäden an Anschlussleitungen je 1000 Anschlussleitungen.

Die Bewertung der Schadensrate an Anschlussleitungen erfolgt ebenfalls nach DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 [2] (vgl. **Tabelle 2**).

Ungenauigkeiten beim Vergleich verschiedener Versorger können sich durch unterschiedliche Eigentumsverhältnisse und Entscheidungsbefugnisse ergeben. Liegt die gesamte Anschlussleitung im Eigentum bzw. der Entscheidungsbefugnis zur Rehabilitation beim Versorger, ergibt sich nur eine Schadens- und Rehabilitationsrate. Ist der Versorger nur im öffentlichen Straßenland Eigentümer bzw. zur Rehabilitation entscheidungsbefugt und liegt der Anteil der Anschlussleitung auf Privatgrund in der Verantwortung des Kunden, ergeben sich i. d. R. unterschiedliche Schadens- und Rehabilitationsraten. Der Versorger hat hierbei nur für den Anteil im öffentlichen Straßenland die Möglichkeit, den Netzzustand durch Rehabilitation entscheidend zu verbessern. Für den Anteil auf Privatgrund wird der Kunde eher eine Reparatur als eine kostspieligere Rehabilitation bevorzugen. Deutlich wird dieses Verhalten z. B. beim Austausch von alten Bleihausanschlüssen.

Da beim SIT der Fokus auf den Netzzustand gelegt wird (unabhängig der Entscheidungsbefugnis des Versorgers), sollte die Schadensrate der gesamten Anschlussleitung bei der Berechnung verwendet werden.

### 1.1.4 Schadensrate an Armaturen ( $SR_{AR}$ )

Die Schadensrate an Armaturen ( $SR_{AR}$ ) ist definiert als Anzahl der Schäden an Absperrarmaturen und Hydranten je 1000 Stück und wird nach neuem Beiblatt W 400-3-B1 (Gelbdruck, vgl. [3]) zum DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 [2] bewertet (siehe **Tabelle 3**).

**Tabelle 3.** Bewertung von Schadensraten an Absperrarmaturen nach Beiblatt W 400-3-B1 [3] zum DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 [2].

Bereiche	Schadensrate an Absperrarmaturen und Hydranten (Schäden je 1000 Stück und Jahr)
niedrig	$\leq 5$
mittel	$> 5$ bis $\leq 15$
hoch/ unbekannt	$> 15$

**Tabelle 4.** Bewertung der Braunwasserrate.

Bereiche	Braunwasserrate (Meldungen Braunwasser je 100 km Gesamtnetz ohne Ursachen beim Endverbraucher)
niedrig	$\leq 5$
mittel	$> 5$ bis $\leq 15$
hoch	$> 15$

Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wären sowohl eine identische Definition des Begriffes Schaden (z. B. Undichtigkeit, Funktionseinschränkung etc.) als auch eine Einführung einer einheitlichen Prüfmethodik sinnvoll.

Weitere Armaturen und Sonderbauten, wie Be- und Entlüftungsarmaturen und Druckminderer, sind in dieser Kennzahl nicht erfasst. Die Kennzahl bildet somit den Netzzustand in Bezug auf Armaturen nur unvollständig ab. Dies erscheint vor dem Hintergrund der geringeren Anzahl an weiteren Armaturen jedoch als tolerabel.

### 1.1.5 Braunwasserrate (BWR)

Eine gesetzliche Vorgabe oder DVGW-Empfehlungen zur Erfassung und Bewertung der Braunwasserrate existiert aktuell nicht.

Die Braunwasserrate (BWR) wird deshalb hier definiert als Anzahl der Braunwasser-Meldungen je 100 km Gesamtlänge Netz (THuVL + AL). Gemessen wird die Anzahl der telefonischen und schriftlichen Meldungen von Kunden über braunes Wasser. Die Gesamtzahl an Meldungen wird um Meldungen, deren Ursachen beim Endverbraucher lagen (Filter, Hausinstallation), bereinigt.

Braunes Wasser wird durch Ablagerungen von Eisen- und Manganverbindungen im Trinkwassernetz hervorgerufen. Langfristig oder auch kurzfristig bei Änderung der Strömungsverhältnisse oder Trinkwasserhärte können diese Ablagerungen mobilisiert werden. Dies führt zu einer Trübung des Trinkwassers.

Die Bewertung der Braunwasserrate erfolgt nach eigener Einschätzung, analog zu der Bewertung der Schadensraten, in drei Stufen (**Tabelle 4**).

### 1.1.6 Grenzwertüberschreitungen (GWÜ)

Auch für die Grenzwertüberschreitungen existieren aktuell keine gesetzliche Vorgaben oder DVGW-Empfehlungen.

Die Grenzwertüberschreitungen (GWÜ) werden deshalb hier definiert als überschrittene meldepflichtige Parameter bei vorgeschriebenen Rohrnetzroutineproben (ohne Nachbeprobungen) gemäß Trinkwasserverordnung (TrinkwV) geteilt durch die Gesamtanzahl der Proben und in Prozent angegeben. Eine Unschärfe bei dieser Teilkennzahl zur Beschreibung des Netzzustandes besteht in den Grenzwertüberschreitungen, die ihre Ursache rohwasser- bzw. wasserwerksseitig haben, also mit dem Trinkwasser schon ins Netz eingespeist wurden.

Sollte bei der Betrachtung der Fokus auf die Mikrobiologie gelegt werden, könnten die Grenzwertüberschreitungen auch als mikrobiologische Grenzwertüberschreitungen ( $GWÜ_{Mb}$ ) definiert und nur Überschreitungen bei coliformen Keimen und koloniebildenden Einheiten gezählt werden [4]. Die chemisch-physikalischen Parameter würden dann nicht

**Tabelle 5.** Bewertung der Grenzwertüberschreitungen.

Bereiche	Grenzwertüberschreitungen (Summe überschrittene Parameter / Summe Proben) in Prozent
niedrig	$\leq 1$
mittel	$> 1 \text{ bis } \leq 3$
hoch	$> 3$

betrachtet werden. Dies würde allerdings eine andere Bewertung als die hier vorgestellte erfordern.

Die Bewertung der Grenzwertüberschreitungen erfolgt auch hier nach eigener Einschätzung untergliedert in drei Bereiche (vgl. **Tabelle 5**).

### 1.2 Bewertung der Teilkennzahlen nach Notensystematik

Die durch das DVGW-Regelwerk vorgegebenen und zum Teil selbst gewählten Bereichsgrenzen müssen auf eine Basis normiert werden, um gleichgewichtet in die Formel des SIT eingehen zu können. Hierfür wurde eine Systematik nach Noten gewählt [4].

Die Klassifikation des Systemindex Trinkwassernetz wird wie folgt vorgeschlagen:

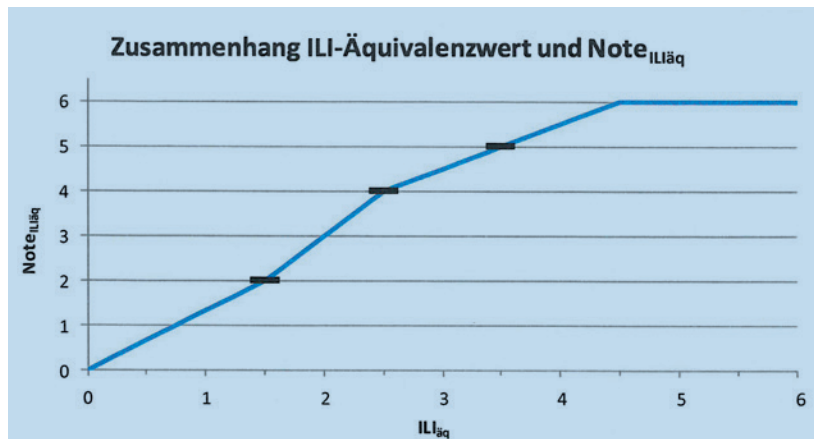
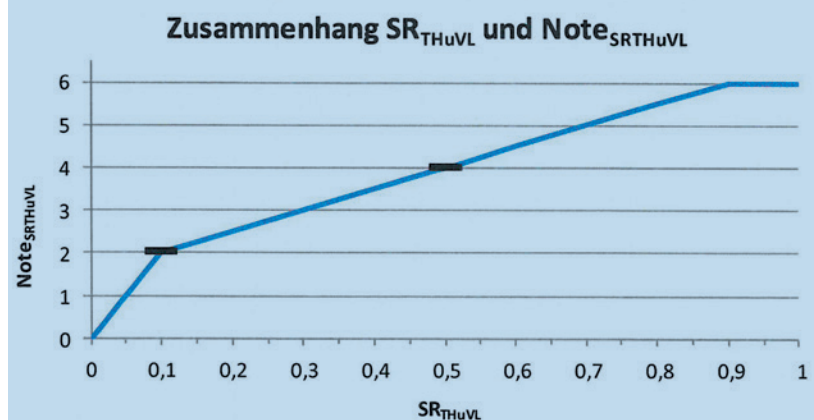
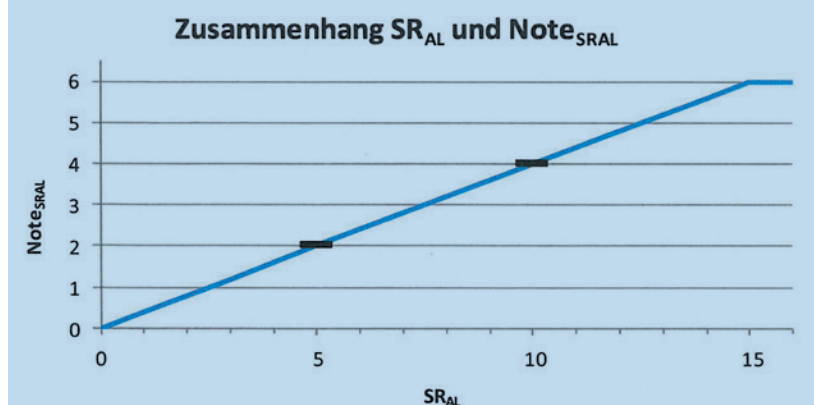
0 bis $\leq 1$	sehr gut
$> 1 \text{ bis } \leq 2$	gut
$> 2 \text{ bis } \leq 3$	befriedigend
$> 3 \text{ bis } \leq 4$	ausreichend
$> 4 \text{ bis } \leq 5$	mangelhaft
$> 5 \text{ bis } 6$	ungenügend

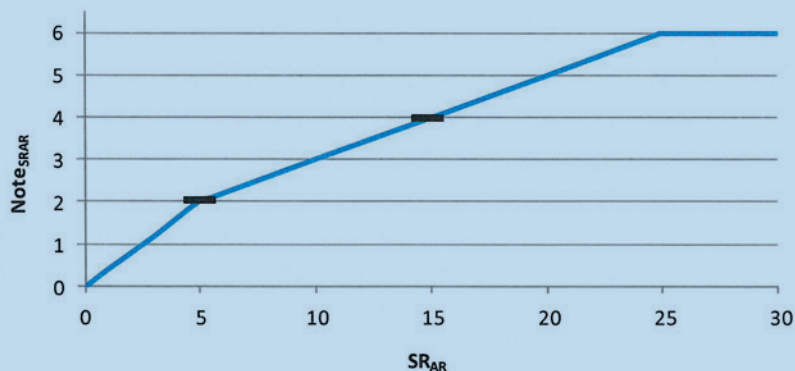
Daraus folgt, dass die bereits vorhandenen Bewertungsklassen der Teilkennzahlen auf das Notensystematikschema übertragen werden müssen. Eine Übersicht zu den bereits bestehenden und gewählten Bereichsgrenzen gibt **Tabelle 6**.

Die Übertragung der Teilkennzahlen in Noten erfolgt durch lineare Umrechnung. Die Grenze „gering bzw. niedrig“ zu „mittel“ wird hierbei als Note 2 und die Grenze „mittel“ zu „hoch“ als Note 4 definiert. Das Notensystem entspricht somit von „0“ bis „2“ der Bewertungsklasse „gering bzw. niedrig“, von „2“ bis „4“ der Bewertungsklasse „mittel“ und von „4“ bis „6“ der Bewertungsklasse „hoch bzw. sehr hoch“.

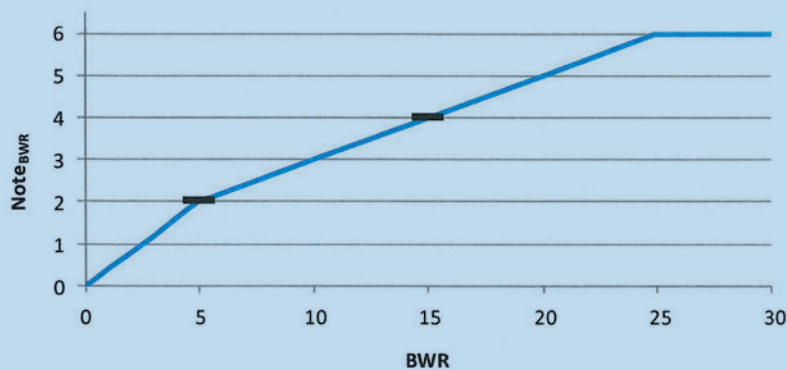
**Tabelle 6.** Bewertungsklassen und Bereichsgrenzen der Teilkennzahlen.

Bewertungsklassen	ILI <sub>Äq</sub>	SR <sub>THuVL</sub>	SR <sub>AL</sub>	SR <sub>AR</sub>	BWR	GWÜ
gering	$< 1,0$					
gering bzw. niedrig	$< 1,5$	$\leq 0,1$	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 1$
mittel	1,5 bis $< 2,5$	$> 0,1 \text{ bis } \leq 0,5$	$> 5 \text{ bis } \leq 10$	$> 5 \text{ bis } \leq 15$	$> 5 \text{ bis } \leq 15$	$> 1 \text{ bis } \leq 3$
hoch	2,5 bis $< 3,5$	$> 0,5$	$> 10$	$> 15$	$> 15$	$> 3$
sehr hoch	$\geq 3,5$					

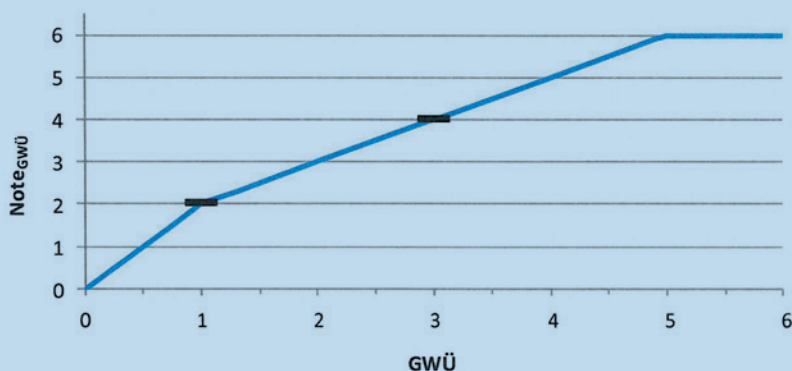
**Bild 1.** Zusammenhang zwischen ILI-Äquivalenzwert und der entsprechenden Note.**Bild 2.** Zusammenhang zwischen Schadensrate an Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen und der entsprechenden Note.**Bild 3.** Zusammenhang zwischen Schadensrate an Anschlussleitungen und der entsprechenden Note.

Zusammenhang  $SR_{AR}$  und  $Note_{SRAR}$ 

**Bild 4.** Zusammenhang zwischen Schadensrate an Armaturen und der entsprechenden Note.

Zusammenhang  $BWR$  und  $Note_{BWR}$ 

**Bild 5.** Zusammenhang zwischen Braunwasserrate und der entsprechenden Note.

Zusammenhang  $GWÜ$  und  $Note_{GWÜ}$ 

**Bild 6.** Zusammenhang zwischen Grenzwertüberschreitung und der entsprechenden Note.

Für den ILI-Äquivalenzwert ergibt sich der folgende Zusammenhang für die Bestimmung der Note (**Bild 1**).

Die schwarzen Markierungen entsprechen den Bereichsgrenzen nach DVGW-Regelwerk. Es ergeben sich durch die vorgegebenen Bereichsgrenzen für die Be-

wertungsklassen „gering“ (Note 0 bis 2), „mittel“ (Note 2 bis 4) und „hoch“ (Note 4 bis 5) bzw. „sehr hoch“ (Note 5 bis 6) jeweils andere Steigungen. Ab einem ILI-Äquivalenzwert von größer / gleich 4,5 beträgt die Note konstant „6“. Der hier abgebildete Zusammenhang kann über die Standardfunktionen eines Tabellenkalkulationsprogramms realisiert werden.

Analog wird für alle weiteren Teilkennzahlen der Zusammenhang durch lineare Umrechnung ausgewiesen. Für die Bewertungsklasse „hoch“ wird jeweils die gleiche Steigung wie in der Bewertungsklasse „mittel“ zu Grunde gelegt. Ab Erreichen der Note „6“ bleibt diese konstant, auch wenn sich der Wert der Teilkennzahl weiter erhöht.

Für die Schadensraten an Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen ist der Zusammenhang **Bild 2** zu entnehmen.

Die schwarzen Markierungen entsprechen den Vorgaben aus dem DVGW-Regelwerk. Damit ergibt sich in der Bewertungsklasse „gering“ eine andere Steigung als in den Bewertungsklassen „mittel“ und „hoch“. Ab dem Erreichen der Note „6“ bleibt diese konstant, auch wenn sich der Wert der Teilkennzahl weiter erhöht.

Die Steigung der linearen Umrechnung der Schadensrate an Anschlussleitungen ist dagegen über alle Bewertungsklassen konstant (**Bild 3**).

Erreicht die Schadensrate an Anschlussleitungen den Wert „15“ oder wird größer, bleibt die Note auf dem Wert „6“ bestehen.

Der Zusammenhang für die Noten der Schadensrate an Armaturen und für die Braunwasserrate (gleiche Werte für die Noten „2“ und „4“) sind in den **Bildern 4 und 5** dargestellt.

Auch hier bleibt die Note bei einem Überschreiten der Werte der Teilkennzahlen von „25“ bei einer „6“ bestehen.

Der Zusammenhang zwischen der Teilkennzahl Grenzwertüberschreitung zu ihrer Note ist in **Bild 6** dargestellt.

Wie auch bei den meisten anderen Teilkennzahlen ergeben sich unterschiedliche Anstiege in den Bewertungsklassen. Ab einer Überschreitung des Wertes von „5“ bleibt die Note der Grenzwertüberschreitung konstant bei „6“.

Über die Zusammenhänge lassen sich aus den einzelnen Teilkennzahlen die zugehörigen Noten aus den Teilkennzahlen berechnen. **Tabelle 7** zeigt die sich ergebenden Werte entsprechend der gewählten Notensystematik.

Die sich daraus ergebenden Wertebereiche für die Bewertungsklassen sind in **Tabelle 8** dargestellt.

Mit der Ermittlung der Noten aus den jeweiligen Teilkennzahlen können die Bewertungen der Teilkennzahlen gleichgewichtet in den Systemindex Trinkwassernetz eingehen.

**Tabelle 7.** Gegenüberstellung der Noten mit den Werten der Teilkennzahlen.

Note	ILL <sub>aq</sub>	SR <sub>THuVL</sub>	SR <sub>AL</sub>	SR <sub>AR</sub>	BWR	GWÜ
1	0,75	0,05	2,5	2,5	2,5	0,5
2	1,50	0,10	5,0	5,0	5,0	1,0
3	2,00	0,30	7,5	10,0	10,0	2,0
4	2,50	0,50	10,0	15,0	15,0	3,0
5	3,50	0,70	12,5	20,0	20,0	4,0
6	4,50	0,90	15	25,0	25,0	5,0

**Tabelle 8.** Darstellung der Bewertungsklassen und der Wertebereiche der Teilkennzahlen.

Bewertungs- klassen	Note	ILL <sub>aq</sub>	SR <sub>THuVL</sub>	SR <sub>AL</sub>	SR <sub>AR</sub>	BWR	GWÜ
gering (sehr gering)	0 bis 1	0 bis 0,75	0 bis 0,05	0 bis 2,5	0 bis 2,5	0 bis 2,5	0 bis 0,5
gering	1 bis 2	0,75 bis 1,50	0,05 bis 0,10	2,5 bis 5,0	2,5 bis 5,0	2,5 bis 5,0	0,5 bis 1,0
mittel (Tendenz gering)	2 bis 3	1,50 bis 2,00	0,10 bis 0,30	5,0 bis 7,5	5,0 bis 10,0	5,0 bis 10,0	1,0 bis 2,0
mittel (Tendenz hoch)	3 bis 4	2,00 bis 2,50	0,30 bis 0,50	7,5 bis 10,0	10,0 bis 15,0	10,0 bis 15,0	2,0 bis 3,0
hoch	4 bis 5	2,50 bis 3,50	0,50 bis 0,70	10,0 bis 12,5	15,0 bis 20,0	15,0 bis 20,0	3,0 bis 4,0
hoch (sehr hoch)	5 bis 6	3,50 bis 4,50	0,70 bis 0,90	12,5 bis 15	20,0 bis 25,0	20,0 bis 25,0	4,0 bis 5,0

**Tabelle 9.** Schema für die Entwicklung von Gewichtungsfaktoren.

Leserichtung von links nach rechts	Wasserver- luste (ILI)	Schadensrate THuVL	Schadens- rate AL	Schadensrate Armaturen	Braun- wasser- rate	Grenzwert- überschrei- tungen	Σ	%
Wasserverluste (ILI)	x							
Schadensrate THuVL		x						
Schadensrate AL			x					
Schadensrate Armaturen				x				
Braunwasserrate					x			
Grenzwertüber- schreitungen						x		
						Summe		

### 1.3 Einführung von Gewichtungsfaktoren

Die für den SIT maßgeblichen Teilkennzahlen können den Netzzustand je nach Versorgungsgebiet und -netz unterschiedlich gut beschreiben. Deswegen werden nach der Normierung der Teilkennzahlen Gewichtungsfaktoren (GF) eingeführt. Die Kernfrage lautet: Wie wichtig ist jede Teilkennzahl bei der Beschreibung des Netzzustandes? Die Gewichtungsfaktoren müssen in Summe immer 1,0 (100%) ergeben.

Die Gewichtungsfaktoren lassen sich einfach nach dem in **Tabelle 9** dargestellten Schema entwickeln.

Dabei wird die Wichtigkeit der Teilaspekte im Vergleich zueinander bewertet mit:

- 1 viel weniger wichtig als
- 2 weniger wichtig als
- 3 gleich wichtig wie
- 4 stärker wichtig als
- 5 viel stärker wichtig als

**Tabelle 10.** Beispielhaft ausgefülltes Schema für die Entwicklung von Gewichtungsfaktoren.

Leserichtung von links nach rechts	Wasserverluste (ILI)	Schadensrate THuVL	Schadensrate AL	Schadensrate Armaturen	Braunwasserrate	Grenzwertüberschreitungen	Σ	%
Wasserverluste (ILI)	x	2	2	3	4	2	13	14
Schadensrate THuVL	4	x	4	4	4	3	19	21
Schadensrate AL	4	2	x	4	3	2	15	17
Schadensrate Armaturen	3	2	2	x	3	2	12	13
Braunwasserrate	2	2	3	3	x	2	12	13
Grenzwertüberschreitungen	4	3	4	4	4	x	19	21
						Summe	90	100

Ausgefüllt könnte die Matrix wie in **Tabelle 10** dargestellt aussehen.

Nachdem die Gewichtungsfaktoren ermittelt sind, können diese mit den normierten Teilkennzahlen zum SIT zusammengefügt werden.

**1.4 Formel des Systemindex Trinkwassernetz**

Der SIT ergibt sich aus der Summe der gewichteten Noten der Teilkennzahlen:

$$SIT = \sum Gewichtungsfaktor_i \cdot Note_i$$

$i$	
$ILI_{\dot{a}q}$	Infrastructure Leakage Index
$SR_{THuVL}$	Schadensrate THuVL
$SR_{AL}$	Schadensrate Anschlussleitungen
$SR_{AR}$	Schadensrate Armaturen
$BWR$	Braunwasserrate
$GWÜ$	Grenzwertüberschreitungen

bzw. ausgeschrieben:

$$SIT = GF_{ILI} * Note_{ILI_{\dot{a}q}} + GF_{SR_{THuVL}} * Note_{SR_{THuVL}} + GF_{SR_{AL}} * Note_{SR_{AL}} + GF_{SR_{AR}} * Note_{SR_{AR}} + GF_{BWR} * Note_{BWR} + GF_{GWÜ} * Note_{GWÜ} \quad (Gl. 1)$$

Für die Veranschaulichung und Berechnung werden folgende, selbst entwickelte und gerundete Gewichtungsfaktoren nach **Tabelle 11** gewählt.

In Summe gehen alle Schadensraten zu 50% Gewichtung in den SIT ein. Dies ist plausibel, da diese hohen Einfluss auf den Zustand und damit auch auf die Qualität haben.

**1.5 Berechnung des Systemindex Trinkwassernetz**

Zur Berechnung des SIT sind alle Teilkennzahlen möglichst mehrerer Jahre nach den Definitionen zu ermitteln und in Noten umzurechnen. Dabei empfiehlt es sich, die Teilkennzahlen in einem Tabellenkalkulationsprogramm zu erfassen. Die in **Tabelle 12** abgebildeten

**Tabelle 11.** Für die weiteren Berechnungen gewählte Gewichtungsfaktoren.

Gewichtungsfaktor	gewählt	in %
$GF_{ILI_{\dot{a}q}}$	0,15	15 %
$GF_{SR_{THuVL}}$	0,20	20 %
$GF_{SR_{AL}}$	0,15	15 %
$GF_{SR_{AR}}$	0,15	15 %
$GF_{BWR}$	0,15	15 %
$GF_{GWÜ}$	0,20	20 %

**Tabelle 12.** Beispielhafte Werte für Teilkennzahlen für ein Berechnungsbeispiel.

Jahr	$ILI_{\dot{a}q}$	$SR_{THuVL}$	$SR_{AL}$	$SR_{AR}$	BWR	GWÜ
2007	1,55	0,118	6,73	14,2	5,17	3,11
2008	1,37	0,123	6,72	13,0	4,78	2,55
2009	1,50	0,148	6,41	8,2	3,87	2,85
2010	1,35	0,151	6,72	7,5	3,42	3,74
2011	1,21	0,108	6,51	8,8	3,59	5,26
2012	1,31	0,144	6,60	9,3	3,40	3,92

Werte sind als fiktive Beispielzahlen für die zu ermittelnden Teilkennzahlen zu verstehen, orientieren sich aber nach Schwankungsbreite und Höhe an Werten eines realen Netzes.

Über die dargestellten Beziehungen zwischen Teilkennzahl und Note ergeben sich die in **Tabelle 13** aufgezeigten Teilkennzahlennoten.

Mittels der Gleichung 1 werden die Noten der einzelnen Teilkennzahlen mit den Gewichtungsfaktoren (**Tabelle 11**) multipliziert und der SIT berechnet.

Für das Jahr 2012 ist der SIT folgendermaßen zu berechnen:

**Tabelle 13.** Darstellung der aus den fiktiven Teilkennzahlen ermittelten Noten für das Berechnungsbeispiel.

Jahr	Note <sub>ILläq</sub>	Note <sub>SRTHuVL</sub>	Note <sub>SRAL</sub>	Note <sub>SRAR</sub>	Note <sub>BWR</sub>	Note <sub>GWÜ</sub>
2007	2,10	2,09	2,69	3,84	2,03	4,11
2008	1,83	2,12	2,69	3,60	1,91	3,55
2009	2,00	2,24	2,56	2,64	1,55	3,85
2010	1,80	2,26	2,69	2,50	1,37	4,74
2011	1,61	2,04	2,60	2,76	1,44	6,00
2012	1,75	2,22	2,64	2,86	1,36	4,92

$$\text{SIT}_{2012} = 0,15 \cdot 1,75 + 0,2 \cdot 2,22 + 0,15 \cdot 2,64 + 0,15 \cdot 2,86 + 0,15 \cdot 1,36 + 0,2 \cdot 4,92 = \underline{2,72}$$

**Tabelle 14** zeigt die Eingangsdaten der Teilkennzahlen und die berechneten Werte des SIT auf.

Der hier über mehrere Jahre berechnete Systemindex Trinkwassernetz liegt somit mit einer Bandbreite von 2,53 bis 2,87 im befriedigenden Bereich (vgl. **Tabelle 7** bzw. Kapitel 1.2). Der Zustand des fiktiven Trinkwassernetzes ist bewertet. Darauf aufbauend sollte ermittelt werden, wie sich der Netzzustand perspektivisch entwickeln wird.

## 2. Nachhaltigkeitsindex ( $I_N$ )

Der Nachhaltigkeitsindex ( $I_N$ ) soll in Abhängigkeit von der durchgeführten Rehabilitation an Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen, Anschlussleitungen und Absperrarmaturen / Hydranten die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung des Netzzustandes ermöglichen.

Dabei bedeutet ein Nachhaltigkeitsindex von 1,0, dass die Rehabilitation nachhaltig ist und der Netzzustand beibehalten werden kann. Sinkt der Nachhaltigkeitsindex unter 1,0, tritt perspektivisch eine Netzverschlechterung ein, da die durchgeführte Rehabilitation nicht ausreichend ist, um den Netzzustand beizubehalten. Ein Nachhaltigkeitsindex von größer 1,0 deutet auf eine perspektivische Netzverbesserung hin. Je größer die Abweichung von 1,0 ist, desto schneller werden sich die Zustandsänderungen des Netzes einstellen.

**Tabelle 14.** Berechneter SIT anhand der Noten der beispielhaften Teilkennzahlen und der Gewichtungsfaktoren.

Noten	Note <sub>ILläq</sub>	Note <sub>SRTHuVL</sub>	Note <sub>SRAL</sub>	Note <sub>SRAR</sub>	Note <sub>BWR</sub>	Note <sub>GWÜ</sub>	SIT
2007	2,10	2,09	2,69	3,84	2,03	4,11	2,84
2008	1,83	2,12	2,69	3,60	1,91	3,55	2,64
2009	2,00	2,24	2,56	2,64	1,55	3,85	2,53
2010	1,80	2,26	2,69	2,50	1,37	4,74	2,65
2011	1,61	2,04	2,60	2,76	1,44	6,00	2,87
2012	1,75	2,22	2,64	2,86	1,36	4,92	2,72

Bedeutung: ist  $I_N > 1,0$ , wird Netzzustand verbessert  
 ist  $I_N = 1,0$ , sichert Rehabilitation Erhaltung Netzzustand auf derzeitigem Status Quo  
 ist  $I_N < 1,0$ , wird Netzzustand verschlechtert

In Verbindung mit dem SIT ergibt sich über die fortgeschriebenen Jahre eine Art Tandemsystem, weil jede Kennzahl auf die andere einwirkt.

### 2.1 Historie

Bereits 2010 schlugen *Schlicht* und *Heyen* einen Nachhaltigkeitsindex auf Basis eines Verlust- und Schadensindex vor [5]. Der Nachhaltigkeitsfaktor ergab sich aus der mittleren Rehabilitationsrate in Prozent pro Jahr geteilt durch das Produkt aus Verlustindex und Schadensindex.

$$\text{Nachhaltigkeit} = \frac{\text{mittlere Rehabilitationsrate}}{\text{Verlustindex} \cdot \text{Schadensindex}} \quad (\text{Gl. 2})$$

Der Verlustindex wurde aus dem Quotienten von tatsächlichen mittleren spezifischen realen Wasserverlusten zur Grenze von geringen spezifischen realen Wasserverlusten nach DVGW-Arbeitsblatt W 392:05.2003 [6] gebildet:

$$\text{Verlustindex} = \frac{\text{tatsächliche mittlere spezifische reale Verluste}}{\text{geringe spezifische reale Verluste}} \quad (\text{Gl. 3})$$



Der Schadensindex wurde analog aus dem Quotienten von tatsächlicher mittlerer Schadensrate zur Grenze von geringer Schadensrate nach DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 [2] gebildet:

$$\text{Schadensindex} = \frac{\text{tatsächliche mittlere Schadensrate}}{\text{niedrige Schadensrate}} \quad (\text{Gl. 4})$$

## 2.2 Definition des Nachhaltigkeitsindexes ( $I_N$ )

Der nun vorgeschlagene Nachhaltigkeitsindex ( $I_N$ ) setzt die jeweiligen Rehabilitationsraten von Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen, Anschlussleitungen sowie Absperrarmaturen und Hydranten ins Verhältnis zum Systemindex Trinkwassernetz.

Analog zum SIT ist der Nachhaltigkeitsindex mit Gewichtungsfaktoren entwickelt worden, um unternehmensindividuelle Anpassungen vornehmen zu können.

## 2.3 Ermittlung der Rehabilitationsraten

### 2.3.1 Leitungsrehabilitationsrate von Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen ( $LRR_{THuVL}$ )

Die Rehabilitationsrate von Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen ( $LRR_{THuVL}$ ) wird in einen betrieblich veranlassten Anteil (Versagenswahrscheinlichkeit) und einen durch Dritte veranlassten Anteil (koordinierter Leitungs- und Straßenbau, Leitungsumverlegung usw.) unterteilt. Die Faktoren  $A_{betr}$  und  $A_{fremd}$  stellen dabei den jeweiligen Anteil dar. Der durch die betriebliche Rehabilitationsstrategie veranlasste Anteil wird vollumfänglich zur Netzverbesserung wirksam (die Anwendung eines Rehabilitationstools wie OptNet, Kanew oder PIREM wird vorausgesetzt), der durch Dritte veranlasste Anteil nur anteilig. Deswegen werden die Faktoren Netzverbesserung, Verbesserung betriebliche Maßnahmen ( $F_{V,betr}$ ) und Verbesserung fremdveranlasste Maßnahmen ( $F_{V,fremd}$ ) eingeführt. Der Faktor  $F_{V,betr}$  beträgt 1,0 (100%), da eine Rehabilitation beim Erreichen der technischen Nutzungsdauer eine vollständige Verbesserung des Leitungsabschnitts bedeutet. Für den Faktor  $F_{V,fremd}$  wurden folgende Annahmen beispielhaft getroffen, um die Verbesserung für das Leitungsnetz abzuschätzen: Die jüngste fremdveranlasst ausgewechselte Leitung wäre 30, die älteste 70 Jahre alt. Bei einer angenommenen Normalverteilung des Alters aller fremdveranlasst erneuerten Leitungen, da auch die fremdveranlasste Rehabilitation im Mittel in etwa konstant sein sollte, ergibt sich ein mittleres rehabilitiertes Leitungsalter von 50 Jahren. Bei einer angenommenen mittleren technischen Nutzungsdauer von 90 Jahren würden nur 50/90 verbessert (technisch bereits verbraucht) und eine technische Restnutzungsdauer von 40 Jahren würde „verschenkt“ werden. Die Netzverbesserung beträgt somit 50/90, was rund 56% entspricht. In den weiteren Berechnungen wird der Faktor

$F_{V,fremd}$  mit 0,5 (50%) angenommen.<sup>1</sup> Je nach tatsächlichen Verhältnissen bzw. näheren Erkenntnissen kann bzw. sollte der Faktor  $F_{V,fremd}$  entsprechend angepasst werden.<sup>2</sup>

Der Term für die Rehabilitation von Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen ist lediglich ein Teil der Formel des Nachhaltigkeitsindex und ergibt sich somit zu:

$$A_{betr} * F_{V,betr} * LRR_{THuVL} + A_{fremd} * F_{V,fremd} * LRR_{THuVL}$$

$A_{betr}$  Anteil der Leitungsrehabilitation THuVL, betriebliche Maßnahmen

$A_{fremd}$  Anteil der Leitungsrehabilitation THuVL, Maßnahmen durch Dritte

$F_{V,betr}$  Faktor Netzverbesserung, betriebliche Maßnahmen (1,0 entspricht 100%)

$F_{V,fremd}$  Faktor Netzverbesserung, Maßnahmen durch Dritte (Bsp.: 0,5 entspricht 50%)

$LRR_{THuVL}$  Leitungsrehabilitationsrate von Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen (in %)

### 2.3.2 Leitungsrehabilitationsrate von Anschlussleitungen ( $LRR_{AL}$ )

Die Rehabilitationsrate von Anschlussleitungen geht längenbezogen in Prozent in die Berechnung ein. Sollten die Längen nicht bekannt sein, kann hilfswise über die Anzahl der Anschlussleitungen gerechnet werden.

### 2.3.3 Armaturenrehabilitationsrate (ARR)

Die Rehabilitationsrate von Absperrarmaturen und Hydranten wird ebenfalls in Prozent angegeben. Da sich auch der Systemindex Trinkwassernetz nur auf die Absperrarmaturen und Hydranten stützt, werden die weiteren Armaturen hier ebenfalls vernachlässigt.

## 2.4 Einführung von Gewichtungsfaktoren ( $GF_N$ )

Analog zum Systemindex Trinkwassernetz werden auch beim Nachhaltigkeitsindex Gewichtungsfaktoren ( $GF_N$ ) zur unternehmensindividuellen Anpassung eingeführt. Diese unterscheiden sich aber von den Gewichtungsfaktoren bei der Berechnung des SIT und dürfen nicht verwechselt werden. Die Kernfrage lautet hierbei: Wie stark trägt die jeweilige Rehabilitationsart zur Zustands-

<sup>1</sup> Bei einer angenommenen Normalverteilung aller fremdveranlasst ausgewechselten Leitungen je Materialklasse und über alle Baujahre (nicht längengewichtet) würde unabhängig von der technischen Nutzungsdauer je Materialklasse und damit auch als Summe über alle Materialklassen der Verbesserungsfaktor  $F_{V,fremd}$  0,5 (50%) betragen.

<sup>2</sup> Idealerweise würden alle fremdveranlasst ausgewechselten Leitungen bezüglich ihrer jeweiligen Netzzustandsverbesserung bewertet (verbrauchte technische Nutzungsdauer im Verhältnis zu gesamter technischer Nutzungsdauer) und längengewichtet zum Jahreswert aufsummiert.

verbesserung des Netzes bei? Die Summe muss auch hier immer 1,0 (100%) betragen. Die einmal gewählten Faktoren sollten über einen längeren Zeitraum bestehen bleiben, um dieses Randkriterium im Rahmen des Monitorings konstant zu halten.

Im Weiteren wurden folgende Gewichtungsfaktoren nach eigener Abschätzung gewählt:

$GF_{N,THuVL}$  (Gewichtungsfaktor, Nachhaltigkeit, THuVL)  
= 0,5 (50%)

$GF_{N,AL}$  (Gewichtungsfaktor, Nachhaltigkeit, AL)  
= 0,3 (30%)

$GF_{N,AR}$  (Gewichtungsfaktor, Nachhaltigkeit, AR)  
= 0,2 (20%)

### 2.5 Einführung eines Normierungsfaktors

Für den Nachhaltigkeitsindex muss der Einfluss der netzverbessernden Rehabilitation auf die Änderung des Netzzustandes beurteilt werden. Hierfür wird ein Normierungsfaktor (NF) eingeführt, mit dem abgeschätzt wird, bei welcher netzverbessernden, mittleren Rehabilitationsrate unter den gewählten Gewichtungsfaktoren es weder zu einer Netzverbesserung noch zu einer Netzverschlechterung, d. h. zu einem gleichbleibenden Netzzustand (SIT = konstant) kommt. Aus der Erfahrung wurde hier beispielhaft die Annahme getroffen, dass bei einer netzverbesserungswirksamen Rehabilitation von im Mittel 1 % pro Jahr ein gerade noch befriedigender Netzzustand (SIT = 3) beibehalten werden kann. Werden die Annahmen in die Gleichung 5 eingesetzt und  $I_N = 1,0 = \text{konstant}$  angesetzt, ergibt sich der Normierungsfaktor ebenfalls zu 3<sup>3</sup>.

Sollte sich im Zuge der Anwendung des Nachhaltigkeitsindex ein anderer Bezug ergeben, kann der gewählte Normierungsfaktor (NF = 3) angepasst werden. Allerdings ist es nicht notwendig, den Normierungsfaktor zwingend zu bestimmen und anzupassen, da bei einer angenommenen Netzverbesserung (trotz berechnetem Nachhaltigkeitsindex von  $I_N = 1,0$ ) der SIT perspektivisch sinkt und der Nachhaltigkeitsindex deswegen größer als 1,0 wird. Die Entwicklung bzw. Tendenz ist somit stets korrekt, lediglich das Delta zu 1,0 als Geschwindigkeitsanzeiger kann leicht variieren. Für ein Monitoring ist hier ebenfalls die Beibehaltung eines einmal gewählten Normierungsfaktors über einen längeren Zeitraum wichtig.

### 2.6 Die Formel des Nachhaltigkeitsindex ( $I_N$ )

Die Formel zur Berechnung des Nachhaltigkeitsindex lautet:

$$I_N = \text{konst.} = 1,0 = \frac{NF(0,5 * (1\%) + 0,3 * (1\%) + 0,2 * (1\%))}{SIT = 3,0}$$

$$NF = \frac{SIT = 3,0}{I_N = 1,0 * (1)} = 3$$

$$I_N = \frac{NF * (GF_{N,THuVL} * (A_{betr} * F_{V,betr} * LRR_{THuVL} + A_{fremd} * F_{V,fremd} * LRR_{THuVL})) + GF_{N,AL} * LRR_{AL} + GF_{N,AR} * ARR}{SIT} \quad (Gl. 5)$$

$A_{betr}$	Anteil der Leitungsrehabilitation THuVL, betriebliche Maßnahmen (Bsp.: 0,4 [40%])
$A_{fremd}$	Anteil der Leitungsrehabilitation THuVL, Maßnahmen durch Dritte (Bsp.: 0,6 [60%])
ARR	Armaturenrehabilitationsrate im Betrachtungsjahr (%)
$F_{V,betr}$	Faktor Netzverbesserung, betriebliche Maßnahmen (1,0 [100%])
$F_{V,fremd}$	Faktor Netzverbesserung, Maßnahmen durch Dritte (Bsp.: 0,5 [50%])
$GF_{N,AL}$	Gewichtungsfaktor Nachhaltigkeit Anschlussleitungen (Bsp.: 0,3 [30%])
$GF_{N,AR}$	Gewichtungsfaktor Nachhaltigkeit Armaturen (Bsp.: 0,2 [20%])
$GF_{N,THuVL}$	Gewichtungsfaktor Nachhaltigkeit, Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen (Bsp.: 0,5 [50%])
$LRR_{AL}$	Leitungsrehabilitationsrate von Anschlussleitungen im Betrachtungsjahr (%)
$LRR_{THuVL}$	Leitungsrehabilitationsrate von Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen im Betrachtungsjahr (%)
NF	Normierungsfaktor (Bsp.: 3)
SIT	Systemindex Trinkwassernetz

Bei der Berechnung des Nachhaltigkeitsindex ist zu beachten, dass die Werte für die Gewichtungs-, Anteil- und Verbesserungsfaktoren in Dezimalzahlen (z. B. 0,4 für 40%) angegeben werden, die Rehabilitationsraten jedoch in Prozent (z. B. 1,2 für 1,2 %).

### 2.7 Beispielrechnung Nachhaltigkeitsindex

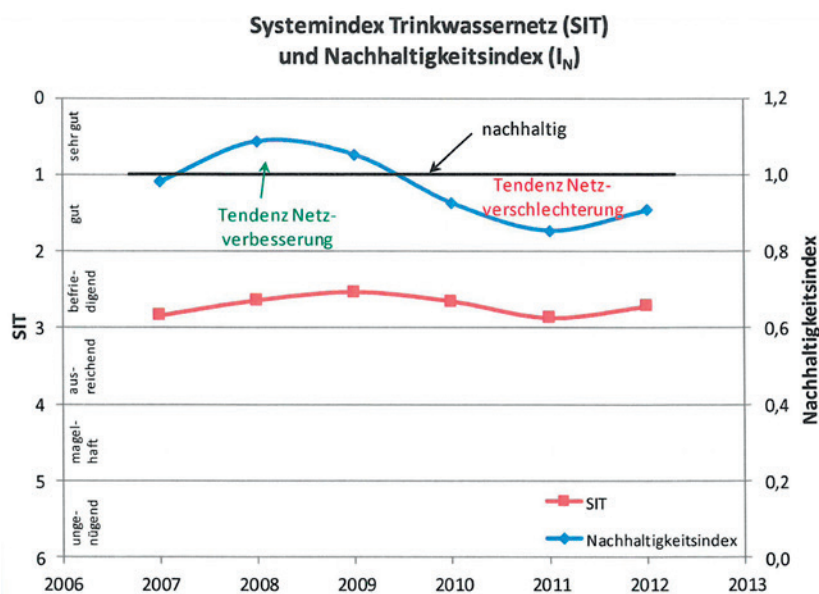
Zur Berechnung des Nachhaltigkeitsindex sind die jeweiligen jährlichen Rehabilitationsraten und der Systemindex Trinkwassernetz zu erheben. **Tabelle 15** gibt ein Beispiel für die Eingangsdaten und die daraus berechneten Nachhaltigkeitsindices (fiktive, jedoch an reale Verhältnisse angelehnte Werte).

Der Nachhaltigkeitsindex bewegt sich in einer Bandbreite von 0,85 bis 1,09 und deutet in den Jahren 2010 bis 2012 auf eine perspektivische Netzzustandsverschlechterung hin. Eine grafische Auswertung ist **Bild 7** zu entnehmen.

Bei langlebigen Versorgungsnetzen führt eine verstärkte oder verringerte Rehabilitation nur langsam und damit verzögert zu einer Änderung des Netzzustandes. Weiterhin überlagern Auswirkungen von z. B. Wetterereignissen den SIT (starker, langanhaltender Frost, Austrocknen von bindigen Böden, Druckerhöhung in das Netz wegen verstärkter Abnahme in langen Trocken-

**Tabelle 15.** Beispielhafte Eingangswerte und errechnete Werte des Nachhaltigkeitsindexes.

Eingangsparameter	Abkürzung	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Leitungsrehabilitationsrate <sub>THuVL</sub> (%)	LRR <sub>THuVL</sub>	1,06	1,14	1,02	0,86	0,93	0,94
Leitungsrehabilitationsrate <sub>AL</sub> (%)	LRR <sub>AL</sub>	1,08	1,05	1,03	0,96	0,92	0,89
Armaturenrehabilitationsrate (%)	ARR	1,17	1,21	1,11	1,15	1,08	1,13
Systemindex Trinkwassernetz (-)	SIT	2,84	2,64	2,53	2,65	2,87	2,72
Nachhaltigkeitsindex (-)	I <sub>N</sub>	0,98	1,09	1,05	0,93	0,85	0,91

**Bild 7.** Beispielhafte Verlaufsdarstellung des Systemindexes Trinkwassernetz und des Nachhaltigkeitsindexes.

perioden usw.). Eine treffende Interpretation des SIT in Verbindung mit dem Nachhaltigkeitsindex ist somit nur unter Kenntnis dieser Einflussfaktoren und nach einem längeren Monitoring möglich. Trotzdem können hiermit Tendenzen schnell erkannt und entsprechende Maßnahmen abgeleitet werden.

Der Nachhaltigkeitsindex kann zusätzlich zur Argumentation gegenüber Politik bzw. Bauämtern eingesetzt werden, die eine Verstärkung von koordinierten Leitungs- und Straßenbaumaßnahmen forcieren wollen. Unter der Annahme einer konstanten Rehabilitationsrate (d.h. konstante finanzielle Mittel) würde sich der Anteil an koordinierten Maßnahmen erhöhen und somit den Nachhaltigkeitsindex senken und den Netzzustand perspektivisch im Vergleich zum Status Quo verschlechtern. Der Einfluss kann somit anschaulich dargestellt werden.

Nachdem nun der Netzzustand und die derzeitigen Rehabilitationsaktivitäten auf Nachhaltigkeit bewertet wurden, sollte das Versorgungsunternehmen die strategische, zukünftige Netzentwicklung festlegen.

Aus dieser Entwicklung ist nachfolgend ein mittleres benötigtes Budget zur Zielerreichung abzuleiten.

### 3. Ermittlung / Plausibilisierung eines benötigten mittleren Budgets

Mit den bereits vorgestellten Kennzahlen Systemindex Trinkwassernetz und Nachhaltigkeitsindex kann ein Versorgungsunternehmen überschlägig ein mittleres, benötigtes Budget für die Netzrehabilitation abschätzen bzw. den geplanten Budgetrahmen plausibilisieren. Das Verfahren soll deshalb im Folgenden modellhaft vorgestellt werden.

Je nach aktuellem Netzzustand und zukünftigem Soll-Netzzustand kann ein Nachhaltigkeitsindex vorgegeben werden. Werte größer 1,0 werden zu einer perspektivischen Netzverbesserung, Werte unter 1,0 zu einer Netzverschlechterung führen. Je größer der Abstand zu 1,0 ist, desto schneller wird der jeweilige Effekt eintreten.

Voraussetzung für die Berechnung ist die Kenntnis der Netzstrukturdaten (Leitungslängen und Anzahl der Absperrarmaturen und Hydranten) sowie die für die bisherigen Berechnungen des SIT und Nachhaltigkeitsindex ermittelten Verteilungs- und Gewichtungsfaktoren. Zudem sind die aktuellen, für das betrachtete Netz durchschnittlichen spezifischen Baukosten (Baumeterpreise bzw. Baustückkosten) zu ermitteln. Unter der Annahme, dass sich in den Folgejahren die Verteilung der Durchmesser nicht ändern wird, werden die jeweiligen aufgewendeten Investitionen des letzten Jahres durch die verlegten Meter Rohrleitung bzw. die Anzahl der rehabilitierten Armaturen geteilt. Sind Besonderheiten wie z.B. Hauptleitungsrehabilitationsprogramm aufgetreten, sollten ggf. andere Jahre zur Betrachtung herangezogen oder ein Mittelwert verschiedener Jahre gebildet werden. Die so ermittelten spezifischen Baukosten sind eine gute Näherung für die weitere Betrachtung. Für eine höhere Genauigkeit könnten perspektivisch auch einzelne DN-Klassen gebildet werden. Eine angenommene Baupreissteigerung, die sich z.B. durch Interpolation der langjährigen Indexreihen der WIBERA Wirtschaftsberatung AG ergibt, berücksichtigt die allgemeine Preissteigerung. **Tabelle 16** listet die benötigten Eingabewerte beispielhaft auf.

In diesem Beispiel wird ein Nachhaltigkeitsindex von 1,2 gewählt, um den Netzzustand mittelfristig zu verbessern. Durch Umstellen der Gleichung 5 kann errechnet werden, wie hoch die Rehabilitationsraten zur Erreichung des Nachhaltigkeitsindex sein müssen:

**Tabelle 16.** Beispielhafte Eingabewerte zur Berechnung des mittleren benötigten Budgets.

Eingabewerte (Bsp.) 2012		
Systemindex Trinkwassernetz	SIT <sub>2012</sub>	2,72
gewählter Nachhaltigkeitsindex	I <sub>N,g</sub>	1,2
Anteil Leitungsrehabilitation <sub>THuVL,betr.</sub>	A <sub>betr</sub>	0,4 (40 %)
Anteil Leitungsrehabilitation <sub>THuVL,fremd</sub>	A <sub>fremd</sub>	0,6 (60 %)
Faktor Netzverbesserung betr.	F <sub>V,betr</sub>	1,0 (100 %)
Faktor Netzverbesserung fremd	F <sub>V,fremd</sub>	0,5 (50 %)
Gewichtung Leitungsrehabilitation <sub>THuVL</sub>	GF <sub>THuVL</sub>	0,5 (50 %)
Gewichtung Leitungsrehabilitation <sub>AL</sub>	GF <sub>AL</sub>	0,3 (30 %)
Gewichtung Armaturenrehabilitation	GF <sub>AR</sub>	0,2 (20 %)
Normierungsfaktor	NF	3
spez. Baupreis THuVL IST		390 €/m
spez. Baupreis AL IST		70 €/m
spez. Baustückpreis AR IST		3 000 €/Stk.
angenommene Baupreissteigerung		2,0 %/a

$$LRR_{THuVL} = \frac{SIT * I_{N,g}}{NF * (A_{betr} * F_{V,betr} + A_{fremd} * F_{V,fremd})} \quad (Gl. 6)$$

$$LRR_{AL} = \frac{SIT * I_{N,g}}{NF} \quad (Gl. 7)$$

$$ARR = \frac{SIT * I_{N,g}}{NF} \quad (Gl. 8)$$

Aus den so ermittelten, benötigten Rehabilitationsprozenten lassen sich über die Gesamtnetzlänge (THuVL, AL) und -stückzahl an Armaturen die zu rehabilitierenden Längen an Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen, Anschlussleitungen sowie die zu rehabilitierende Stückzahl an Absperrarmaturen und Hydranten errechnen. Multipliziert mit den jeweiligen spezifischen Baukosten und der angenommenen Baupreissteigerung errechnet sich der mittlere Bedarf für das Folgejahr.

Im folgenden Beispiel wurde ein reales Netz zur Anonymisierung in den Netzlängen und Stückzahlen geändert. Die Verhältnisse jedoch wurden in der Größenordnung beibehalten. Auf ein Netz von 2500 km Länge an Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen, 600 km Anschlussleitungen und 18 000 Absperrarmaturen / Hydranten bezogen, ergeben sich folgende, benötigte Rehabilitationsprozente, die daraus resultierenden Rehabilitationslängen bzw. die Anzahl der zu rehabilitierenden Armaturen sowie der dazu gehörige Budgetbedarf, um einen Nachhaltigkeitsindex von 1,2 zu erreichen (vgl. **Tabelle 17**).

Das Unternehmen benötigt im Folgejahr also rund 16,5 Mio. Euro an Investitionsmitteln, um die entsprechenden Längen und Stückzahlen zu rehabilitieren.

Unter der Annahme einer vergleichbaren DN-Verteilung der zu rehabilitierenden Leitungen und Armaturen kann so ein Nachhaltigkeitsindex von 1,2 erreicht und der Netzzustand perspektivisch verbessert werden. Das fortgeführte Monitoring wird dann die perspektivische Verbesserung des Systemindex Trinkwassernetz aufzeigen.

**Tabelle 17.** Beispielhafte Ergebnisse der Berechnung des benötigten Budgets.

berechnete Werte (Bsp.) für 2013:	
zu rehabilitierende THuVL gesamt	1,55 %
zu rehabilitierende THuVL gesamt	38,8 km
zu rehabilitierende AL	1,09 %
zu rehabilitierende AL	6,5 km
zu rehabilitierende AR	1,09 %
zu rehabilitierende AR	196 Stk.
benötigtes Budget Leitungsreha <sub>THuVL</sub>	15 452 T€
benötigtes Budget Leitungsreha <sub>AL</sub>	466 T€
benötigtes Budget Armaturenreha	600 T€
Summe	16 517 T€

#### 4. Zusammenfassung

Mit den hier vorgestellten Kennzahlen Systemindex Trinkwassernetz und Nachhaltigkeitsindex kann in einem ersten Schritt der Zustand eines Trinkwassernetzes bewertet werden. In einem zweiten Schritt ist die Bewertung der Nachhaltigkeit der Rehabilitationsmaßnahmen an Transport-, Haupt- und Versorgungsleitungen, Anschlussleitungen und Armaturen in Abhängigkeit vom

Systemzustand des Netzes möglich. Die Tendenz und die Stärke der Tendenz zu Netzzustandsverbesserung, -beibehaltung oder -verschlechterung sind deutlich an den jährlichen Nachhaltigkeitsindices abzulesen. Jedem Versorger steht durch den modularen Aufbau der Kennzahlen eine individuelle Anpassung frei. Sollten mehrere Versorger sich auf gleiche Gewichtungsfaktoren einigen, könnten die Zustände und Entwicklungen dieser Trinkwassernetze miteinander verglichen werden.

Schließlich lassen sich aus aktuellen Struktur- und Finanzdaten des anwendenden Versorgers unter Vorgabe eines anzustrebenden Nachhaltigkeitsindex und unter Beachtung der Preissteigerung benötigte Rehabilitationsprozente, -längen und -budgets ableiten. Auch eine mittelfristige Unternehmensteuerung in Bezug auf Tarif, Budget und Personal könnte diese Kennzahlen indiziell zu Planungszwecken verwenden.

Bei breiter Anwendung in der Branche würden Trinkwassernetze unter Wahrung der individuellen Anpassungsmöglichkeit durch Versorger in ihrer technischen Bewertung vergleichbar und der Systemindex Trinkwassernetz sowie der Nachhaltigkeitsindex könnten in Benchmarkingprojekte implementiert werden.

#### Literatur

- [1] DVGW Arbeitsblatt W 392 (Gelbdruck): Wasserverlust in Rohrnetzen – Ermittlung, Überwachung, Bewertung, Wasserbilanz, Kennzahlen. Gelbdruck, DVGW, Bonn, 2013.
- [2] DVGW Arbeitsblatt W 400-3: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRVV); Teil 3: Betrieb und Instandhaltung. DVGW, Bonn, 2006.
- [3] DVGW Arbeitsblatt W 400-3-B1 (Gelbdruck): Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRVV); Teil 3: Betrieb und Instandhaltung – Beiblatt 1: Inspektion und Wartung von Ortsnetzen. Gelbdruck, DVGW, Bonn, 2013.
- [4] Fachlicher Austausch mit Herrn Stürtz, enercity Netzgesellschaft mbH, Hannover.
- [5] Schlicht, H. und Heyen, B.: Kennzahl zur Bewertung der Nachhaltigkeit der Rehabilitation von Trinkwasserrohrnetzen. energie I wasser-praxis, ewp (2010) Nr. 10, S.62–67.
- [6] DVGW Arbeitsblatt W 392: Rohrnetzinspektion und Wasserverluste – Maßnahmen, Verfahren und Bewertungen. DVGW, Bonn, 2003.

Eingereicht: 12.06.2014  
Korrektur: 10.08.2014  
Im Peer-Review-Verfahren begutachtet

#### Autor

Dr.-Ing. **Lars Tennhardt**  
E-Mail: lars.tennhardt@tilia.info |  
bis 2013 Berliner Wasserbetriebe:  
Referent des Leiters der  
Organisationseinheit Wasserversorgung |  
Leiter des Controlling der  
Organisationseinheit Wasserversorgung |  
ab 2013:  
Senior Manager |  
Tilia GmbH |  
Inselstraße 31 |  
D-04103 Leipzig