

Leitlinie

zur Festlegung
der Überdeckungen
von Trinkwasserleitungen
in Baden-Württemberg



Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR

EnBW

Impressum

Herausgeber

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg

EnBW Regional AG

Redaktion

Dipl.-Ing. Xaver Schuler, INTECS Engineering Services, Stuttgart

Fachberatung

Dr. Paul Martin Schäfer, EnBW Regional AG, Fachzentrum Wasser

Dipl.-Ing. (FH) Udo Pasler, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg

Projektdurchführung

INTECS Engineering Services, Stuttgart

Karten

Dr. rer. nat. Joachim Eberle, Institut für physikalische Geographie der Universität Stuttgart; Simon Rebholz, wiss. Hilfskraft

Bezugsadresse

Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg

Abteilung 5: Wasser und Boden

Hauptstätter Str. 67

70178 Stuttgart

Preis: 10 Euro zuzüglich Versandkosten

Die Ergebnisse des vorliegenden Berichts beziehen sich ausschließlich auf die Untersuchungsgegenstände und sind Eigentum des Auftraggebers. Eine Verwendung der Ergebnisse durch Dritte, ihre Veröffentlichung oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung der Herausgeber gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt. Die INTECS Engineering Services GmbH und die Herausgeber übernehmen keine Haftung für Schäden, die aufgrund von weiterführenden oder fehlerhaften Anwendungen der in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse entstehen.

1. Auflage:

Stuttgart, Februar 2004

Vorwort

Die neue Trinkwasserverordnung und knappere finanzielle Budgets fordern von den Kommunen und von der Versorgungswirtschaft neue und innovative Lösungen.

In den letzten Jahren wurden bei der Verlegung von Trinkwasserrohren bereits verschiedene neue Wege beschritten. Neben neuen Rohrwerkstoffen und grabenlosen Verlegeverfahren ist vor allem der Trend zum Bau von Mehrspartenhausanschlüssen zu nennen. In Neubaugebieten werden dabei alle Versorgungsträger wie Strom, Gas, Wasser sowie Telekommunikationsleitungen auf gemeinsamer Trasse bis in die Gebäude geführt. Da die Kostenstruktur dieser Mehrspartenhausanschlüsse wesentlich von der für die Trinkwasserversorgung erforderlichen Verlegetiefe beeinflusst wird, hat die Neckarwerke Stuttgart AG (NWS) bereits 1998 eine Pilotstudie durchgeführt.

Im ländlichen Bereich sind Einzelgehöfte und Kleinsiedlungen oft noch nicht an die öffentliche Trinkwasserversorgung angeschlossen. Dort werden in der Regel Wasservorkommen im Nahbereich der Siedlungsgebiete genutzt. Qualitative Probleme bei dieser Art der Versorgung und die Bedarfssicherung für den Fremdenverkehr zwingen dazu, an die öffentliche Trinkwasserversorgung anzuschließen. Lange Rohrstrecken und eine schwierige Topographie für das zu transportierende Trinkwasser erfordern dabei erhebliche Investitionen.

Vor diesem Hintergrund haben die EnBW Regional AG und das Ministerium für Umwelt und Verkehr Untersuchungen angestoßen, wie die erforderliche Überdeckung von Trinkwasserleitungen reduziert und auf der Basis der regionalen Klimaverteilung angepasst werden kann.

In Zusammenarbeit mit dem Deutschen Verein für das Gas- und Wasserfach e.V. (DVGW) wurde ein Forschungsprojekt zur Ermittlung und Berechnung der Überdeckungshöhen unter Berücksichtigung unterschiedlicher örtlicher Klima- und Bodenverhältnisse durchgeführt. Die Ergebnisse waren Grundlage für weitergehende Untersuchungen für die vorliegenden „Leitlinien zur Festlegung der Überdeckungen von Trinkwasserleitungen in Baden-Württemberg“.

Die Leitlinien zeigen Möglichkeiten auf, die Überdeckungshöhen bei der Verlegung von Trinkwasserrohrleitungen anhand der örtlichen und klimatischen Gegebenheiten für ein Bundesland flächendeckend anzupassen. Trinkwasserleitungen können damit zukünftig in vielen Fällen mit geringerer Überdeckung bei gleichbleibender Versorgungssicherheit verlegt werden. Durch die Anwendung isolierter Rohre können die Verlegetiefen weiter reduziert werden. Vor allem im Leitungstiefbau kann somit von einem erheblichen Einsparpotenzial ausgegangen werden.

Wir hoffen, dass die Leitlinien bei Gemeinden, Wasserversorgungsunternehmen und Planern eine weite Verbreitung und nutzbringende Anwendung finden.

Ulrich Müller MdL
Minister für Umwelt und Verkehr
des Landes Baden-Württemberg

Dr.-Ing. Michael Kunath
Mitglied des Vorstands
EnBW Regional AG

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Anwendungsbereich.....	4
3	Begriffe und Definitionen.....	4
3.1	Bemessungswinter.....	4
3.2	Bemessungssommer	4
3.3	Bodenprofil	4
3.4	Charakteristische Sommertemperatur $T_{0,max}$	4
3.5	Design-Frostindex FI_D	5
3.6	Design-Schneehöhe h_{sD}	5
3.7	Frostindex FI	5
3.8	Mittlere Schneehöhe h_{sm}	6
3.9	Oberflächenbeschaffenheit	6
3.10	Oberflächenbefestigung	6
3.11	Tagesmittel der Lufttemperatur T_m	6
3.12	Temperatursummenkurve	6
3.13	Maximal zulässige Trinkwassertemperatur $T_{S,zul}$	6
4	Allgemeine Vorgehensweise.....	6
4.1	Hauptfall	7
4.2	Sonderfall	7
5	Ermittlung der Eingabegrößen	8
5.1	Design-Frostindex FI_D	8
5.2	Design-Schneehöhe h_{sD}	8
5.3	Charakteristische Sommertemperatur $T_{0,max}$	9
5.4	Maximal zulässige Trinkwassertemperatur $T_{S,zul}$	12
5.5	Maßgebliche Bodenklasse	12
5.6	Maßgebliche Oberflächenbeschaffenheit	15
5.7	Maßgebliche Oberflächenbefestigung	15
5.8	Qualitative Einordnung weiterer Einflussfaktoren	15
5.8.1	Wärmedämmungen.....	15
5.8.2	Armaturen	16
5.8.3	Humusschichten.....	16
5.8.4	Grundwasser	16
6	Ermittlung der erforderlichen Überdeckung	16
6.1	Vorgehensweise.....	16
6.2	Anwendungsfälle.....	16
6.2.1	Verlegung unterhalb unbefestigter Oberflächen bei stagnierendem Durchfluss	21
6.2.2	Verlegung unterhalb befestigter Oberflächen bei stagnierendem Durchfluss	21
6.2.3	Verlegung wärmeisolierter Rohre unterhalb unbefestigter Oberflächen.....	22
7	Betriebserfahrungen mit wärmeisolierten Trinkwasserleitungen	23
7.1	Versuchsstrecke der EnBW Regional AG.....	23
7.2	Pilotprojekt „Wärmeisolierte Rohre Aitern“.....	24

1 Einleitung

Die erforderliche Überdeckung von Trinkwasserleitungen wird vor allem bestimmt durch die Anforderung nach einzuhaltenen Temperaturgrenzen, d.h. Frostsicherheit im Winter und keine unzulässig hohe Erwärmung des Trinkwassers im Sommer. Wesentliche Faktoren, die die Temperatur des Trinkwassers in einer Hausanschluss- oder Versorgungsleitung beeinflussen, sind die regional unterschiedlichen klimatischen Verhältnisse, die örtlichen Verhältnisse und die Betriebsbedingungen, **Bild 1**.

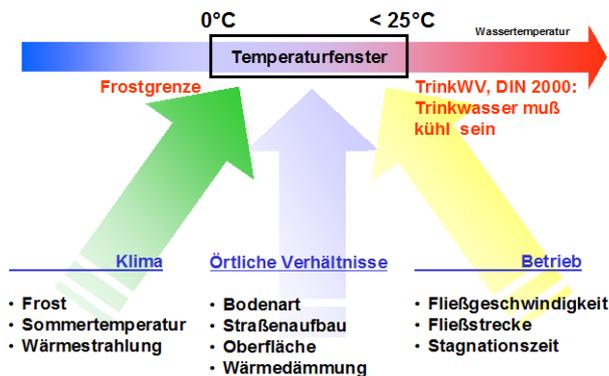


Bild 1 – Einflussfaktoren auf die Trinkwassertemperatur

Grundlegende Untersuchungen hierzu wurden im Rahmen eines vom *Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW)* geförderten Forschungsvorhabens durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Vorhabens sind im DVGW Hinweis W 397 zusammengefasst. In einem vom *Ministerium für Umwelt und Verkehr (UVM) Baden-Württemberg* und der *EnBW Regional AG* getragenen Forschungsvorhaben wurden diese Ergebnisse auf die speziellen Verhältnisse Baden-Württembergs angepasst und auf Versorgungsleitungen und wärmeisolierte Rohre erweitert. Das wesentliche Ergebnis dieses Forschungsvorhabens ist die vorliegende Leitlinie mit den darin enthaltenen Karten, in denen klimatische und geologische Einflussfaktoren zu erforderlichen Mindestüberdeckungen zusammengeführt wurden.

2 Anwendungsbereich

Diese Leitlinie gilt für die Ermittlung der erforderlichen Mindestüberdeckung von Trinkwasserleitungen in Baden-Württemberg. Der Anwendungsbereich umfasst Versorgungs-, Haupt- und Anschlussleitungen.

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Leitungen mit nicht kontinuierlichem Durchfluss und ggf. langen Stagnationsphasen (z. B. bei Wasseranschlussleitungen) und Leitungen mit kontinuierlichem oder nur kurzzeitig stagnierendem Durchfluss ($\ll 1$ Tag), was häufig bei Haupt- und Versorgungsleitungen der Fall ist.

Bei Leitungen mit kontinuierlichem Durchfluss kann durch eine Wärmeisolation die erforderliche Überdeckungshöhe verringert werden. Dabei ist jedoch eine detaillierte Bewertung der Betriebsparameter und der Leitungslänge erforderlich. Das vorliegende Informationsblatt enthält hierzu Angaben für eine typische Versorgungsleitung. Die Betriebsparameter wurden so gewählt, dass eine große Zahl von Anwendungsfällen dadurch abgedeckt werden kann.

Eingebauten Armaturen und den daraus resultierenden Besonderheiten wird ebenfalls Rechnung getragen. Die erforderliche Überdeckung wird durch die Oberkante der Armatur bestimmt.

Schächte werden nicht erfasst. Diese müssen gesondert betrachtet werden.

3 Begriffe und Definitionen

3.1 Bemessungswinter

In Bezug auf die Frosteindringtiefe extremes Winterhalbjahr („Jahrhundertwinter“). Der dieser Leitlinie zugrundeliegende Bemessungszeitraum für die Wintersituation ist das Winterhalbjahr 1962/63 (01.10.1962 bis 30.04.1963).

3.2 Bemessungssommer

In Bezug auf die mittlere Sommertemperatur extremes Sommerhalbjahr („Jahrhundertsommer“). Der dieser Leitlinie zugrundeliegende Bemessungszeitraum für die Sommersituation ist das Sommerhalbjahr 1983 (01.05. bis 30.09.1983).

3.3 Bodenprofil

Das Bodenprofil kennzeichnet die unterschiedlichen Bodenbestandteile mit zunehmendem Abstand von der Oberfläche. Bodenprofile können lokal sehr unterschiedlich sein. Deshalb muss das vorherrschende Bodenprofil jeweils vor Ort erfasst werden.

3.4 Charakteristische Sommertemperatur $T_{0,max}$

Die Lufttemperaturen eines Jahres lassen sich durch Überlagerung mehrerer Temperaturzyklen mit unterschiedlicher Frequenz und Amplitude darstellen, s. **Bild 2**.

Periodische Schwankungen der Lufttemperatur

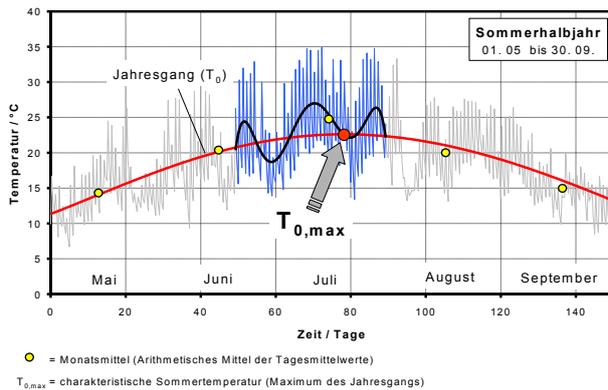


Bild 2 – Definition der charakteristischen Sommertemperatur $T_{0,max}$

Unter Verwendung dieser zyklischen Temperaturschwankungen ist eine konservative Abschätzung der maximalen Bodentemperaturen während eines Sommerhalbjahres möglich. Maßgebliche Eingangsgröße für dieses Berechnungsmodell ist das Maximum des Jahresgangs der Lufttemperatur - die charakteristische Sommertemperatur $T_{0,max}$ (s. Bild 2).

Der Jahresgang kann durch eine Polynomapproximation (polynomische Trendlinie) 4-ten Grades der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur während des Bemessungssommers (Werte vom 01.05. - 30.09.1983) bestimmt werden. Näherungsweise kann $T_{0,max}$ auch aus den Monatsmitteln (arithmetisches Mittel der Tagesmittel eines Monats) berechnet werden. $T_{0,max}$ ergibt sich in guter Näherung als Mittelwert aus dem maximalen Monatsmittel und dem darauffolgenden Monatsmittel (Juli und August 1983).

3.5 Design-Frostindex FI_D

Der Design-Frostindex FI_D ergibt sich durch Einordnung des Bemessungswinters in das langjährige Wintergeschehen. Dies kann anhand einer statistischen Auswertung der Frostindizes über einen langen Zeitraum, hier 30 Jahre, erfolgen.

3.6 Design-Schneehöhe h_{SD}

Die Design-Schneehöhe ergibt sich zum einen durch Bewertung des Bemessungswinters im Kontext der langjährigen Wintersituation. Darüber hinaus ist jedoch auch maßgeblich, ob und in welchem Maß die Oberfläche über der Wasserleitung während der Frostperiode geräumt wird. Es ist zu unterscheiden zwischen Wohngebieten (teilweise geräumt), Verkehrsflächen (oftmals vollständig geräumt) und freien Vegetationsflächen (ungeräumt).

Als Ausgangsbasis für die Ermittlung der Design-Schneehöhe wird der langjährige Mittelwert der mittleren Schneehöhen von Wintern mit Frostindizes $FI_L > 100$ °Cd empfohlen. Diese mittlere Schneehöhe ist dann noch entsprechend dem Maß der Räumung der Oberfläche abzumindern.

3.7 Frostindex FI

Der Frostindex wird als Kennzahl für das Eindringen des Frostes in den Boden verwendet. Der Frostindex auf Basis der Tagesmittel der Lufttemperatur wird als FI_L bezeichnet und ist definiert als Differenz zwischen Maximum und Minimum der Temperatursummenkurve (Summe der Grad-Tage, °Cd) während einer Frostperiode t_f , Bild 3.

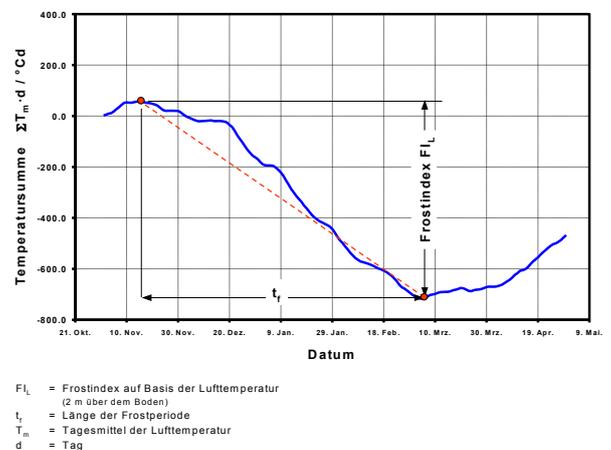


Bild 3 – Bestimmung des Frostindexes

Die Frostperiode t_f umfasst in der Regel nicht das gesamte Winterhalbjahr, sondern nur den Bereich der Temperatursummenkurve, der eine durchgängig fallende Tendenz aufweist. Lokale Maxima werden nur dann als relevant betrachtet, wenn diese das Anfangsmaximum überschreiten, Bild 4.

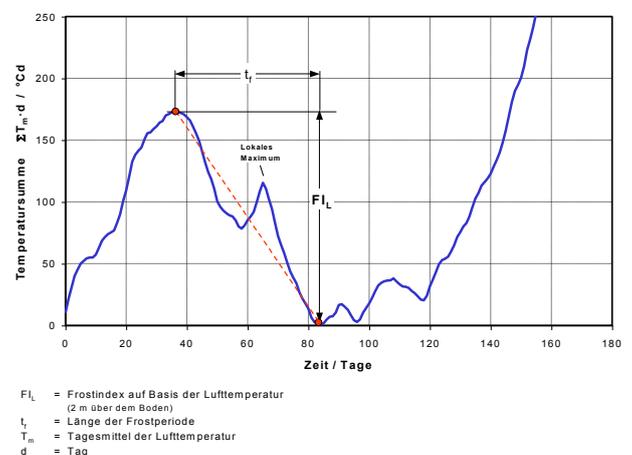


Bild 4 – Bestimmung des Frostindexes bei Vorhandensein lokaler Maxima und Minima

Treten während eines Winterhalbjahres mehrere solcher Situationen in einer Frostperiode auf, dann wird diejenige Frostperiode als relevant betrachtet, die den größten Frostindex aufweist, **Bild 5**.

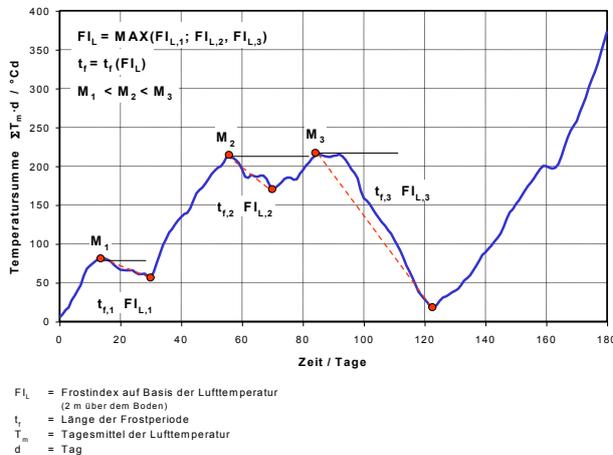


Bild 5 – Definition des Frostindex bei mehreren Frostperioden in einem Winter

3.8 Mittlere Schneehöhe h_{sm}

Die Schneebedeckung während einer Frostperiode hat einen deutlichen Einfluss auf das Eindringen des Frostes in den Boden. Die mittlere Schneehöhe h_{sm} wird als Kenngröße zur Charakterisierung der Schneeverhältnisse während des Bemessungswinters herangezogen und bildet die Eingangsgröße zur Bestimmung der Design-Schneehöhe h_{SD} . Die mittlere Schneehöhe ist definiert als Mittelwert der täglichen Gesamtschneehöhen über der Frostperiode mit der Länge t_f , **Bild 6**.

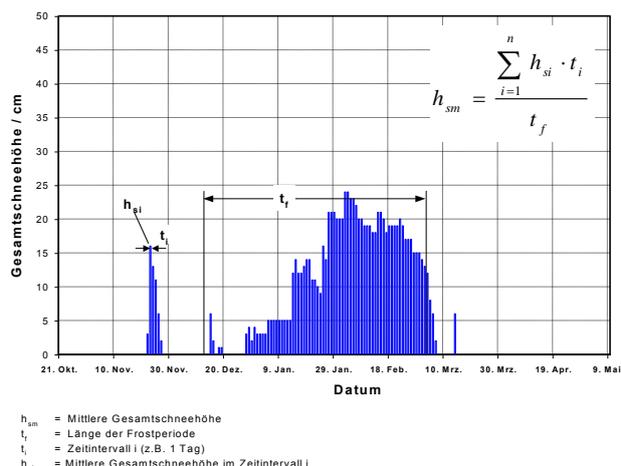


Bild 6 – Definition der mittleren Schneehöhe h_{sm}

3.9 Oberflächenbeschaffenheit

Die Oberflächenbeschaffenheit bezieht sich im Winter auf das Maß der Schneebedeckung. Je nach örtlichen Verhältnissen ist von einer ungeräumten, teilweise oder vollständig geräumten Schneedecke auszuge-

hen. Im Sommer ist die Oberflächenbeschaffenheit maßgeblich für die Absorption der Solarstrahlung. Es ist zu unterscheiden zwischen Oberflächen mit Asphalt- oder Plattenbelag (Straßen, Gehwege, öffentliche Plätze), die vollständig oder teilweise der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind und naturbelassenen Oberflächen, wie z. B. Rasenflächen.

3.10 Oberflächenbefestigung

Durch eine Oberflächenbefestigung wie z. B. bei Verkehrsstraßen oder Gehwegen wird bis zu einer bestimmten Tiefe das natürliche Bodenprofil durch einen künstlichen Schichtaufbau bestehend aus Deck- und Tragschichten ersetzt.

3.11 Tagesmittel der Lufttemperatur T_m

Die Lufttemperatur wird in 2 m Abstand zum Boden gemessen. Der Tagesmittelwert wird nach der "3-Punkt-Methode" gebildet. Hierzu benutzt man die Messungen an drei Klimaterminen. Die Klimatermine sind auf die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) bezogen.

Termin 1: 07:30 MEZ

Termin 2: 14:30 MEZ

Termin 3: 21:30 MEZ (doppelt gewichtet)

Das Tagesmittel ergibt sich nach der Formel:

$$T_m = (\text{Termin 1} + \text{Termin 2} + 2 \text{ mal Termin 3})/4$$

3.12 Temperatursummenkurve

Die Temperatursummenkurve ergibt sich durch Aufsummierung aufeinanderfolgender Produkte von Tagesmittelwerten der Lufttemperatur $T_{m,i}$ und den konstanten Zeitintervallen $\Delta t_i = 1$ Tag.

$$\sum_{i=1}^n T_{m,i} \cdot \Delta t_i$$

Die Einheit der Temperatursumme ist Grad-Tage ($^{\circ}\text{Cd}$).

3.13 Maximal zulässige Trinkwassertemperatur $T_{S,zul}$

Die Trinkwassertemperatur ist nach oben zu begrenzen, um eine Verkeimung des Trinkwassers auszuschließen. Die maximal zulässige Trinkwassertemperatur ist Eingangsgröße zur Ermittlung der erforderlichen Überdeckung für die Sommersituation. Sie muss entsprechend den örtlich geltenden Anforderungen festgelegt werden.

4 Allgemeine Vorgehensweise

Abhängig von den Betriebsbedingungen sind zwei prinzipiell unterschiedliche Fälle zu betrachten, **Bild 7**.

Bei Betriebszuständen mit längeren Stagnationszeiten (> 1Tag bei Anschlussleitungen) und/oder großen Leitungslängen bzw. kleinen Durchflussraten ist die Überdeckungshöhe so festzulegen, dass die darunter liegende Bodentemperatur innerhalb des geforderten Temperaturfensters (s. Bild 1) liegt. Dies entspricht der üblichen Verlegepraxis bei Trinkwasserleitungen und wird deshalb nachfolgend als „Hauptfall“ bezeichnet.

Bei kurzen Stagnationszeiten (< 1 Tag bei Anschlussleitungen) bzw. einer kontinuierlich durchflossenen Leitung kann bei vorhandener Wärmeisolierung (z.B. bei Verlegung im luft- oder schaumstoffgefüllten Mantelrohr) die Überdeckung auch geringer als beim Hauptfall ausgeführt werden. In diesem „Sonderfall“ kann die Überdeckungshöhe so festgelegt werden, dass die darunter liegende Bodentemperatur außerhalb des geforderten Temperaturfensters (s. Bild 1) liegt. In diesem Fall ist bei längeren Leitungsabschnitten (z.B. Versorgungsleitungen, Hauptleitungen) eine detaillierte Bewertung der Betriebsparameter (Durchflussrate) und der Zonengröße (charakteristische Leitungslänge) erforderlich.

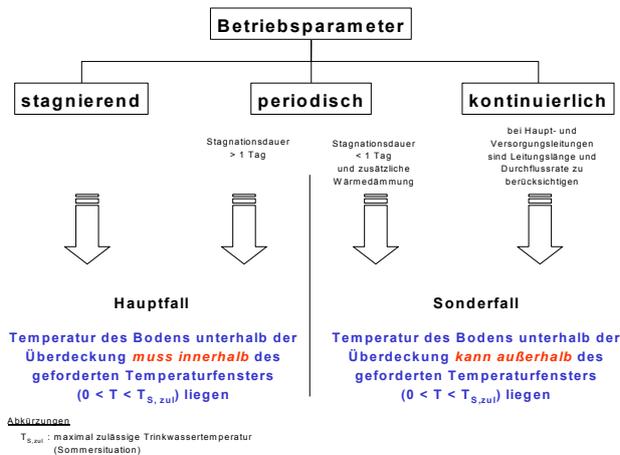


Bild 7 – Einfluss der Betriebsbedingungen auf die Auslegungsberechnung

4.1 Hauptfall

Bei der Ermittlung der erforderlichen Mindestüberdeckung wird zwischen der Sommer- und der Wintersituation unterschieden. Die erforderliche Mindestüberdeckung ergibt sich aus dem Maximum der beiden Überdeckungshöhen, **Bild 8**.

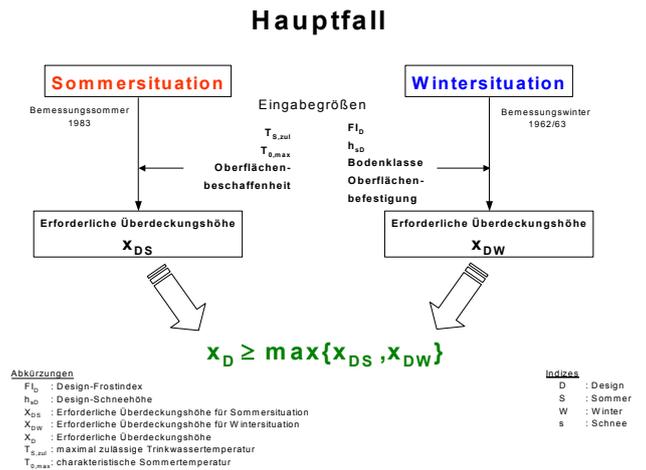


Bild 8 – Schema des Berechnungsgangs bei der Ermittlung der erforderlichen Überdeckungshöhe für den Hauptfall

Dabei wird der Tatsache Rechnung getragen, dass bei einem Ereignis, welches von mehreren Einzelfaktoren abhängt, in der Natur normalerweise nicht alle Einzelfaktoren im ungünstigsten Zustand aufeinandertreffen. Demzufolge werden Faktoren wie z. B. Frostindex und Schneehöhe in vergleichbarem Maße von den Extremverhältnissen abgerückt. Das Maß dieser Reduktion wird durch Vergleich mit gemessenen Werten in extremen Jahren (Bemessungswinter, Bemessungssommer) kalibriert und daraus „Design-Werte“ abgeleitet. Neben diesen klimatischen Kenngrößen sind weitere Angaben über Bodenart, Oberflächenbeschaffenheit und Oberflächenbefestigung als ortspezifische Eingangsgrößen für die Berechnung erforderlich. Unter Verwendung dieser Eingangsgrößen kann die örtliche Mindestüberdeckung anhand der im DVGW Hinweis W 397 enthaltenen Tabellen und Schaubildern ermittelt werden.

4.2 Sonderfall

Der hier betrachtete Sonderfall geht von einer wärmeisolierten Versorgungs- oder Transportleitung mit kontinuierlichem Durchfluss (garantierte Mindestdurchflussrate) aus, **Bild 9**.

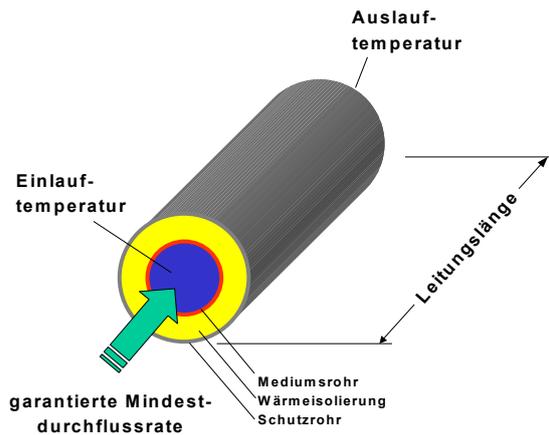


Bild 9 – Wärmeisolierte Versorgungs- oder Transportleitung

Dabei ist sicherzustellen, dass sich das Trinkwasser während des Durchflusses nicht zu stark abkühlt (Gefahr der Eisbildung) oder erwärmt (Gefahr der Verkeimung). Bei bekannter Temperatur des umgebenden Bodens kann der Verlauf der Trinkwassertemperatur über der Rohrleitungslänge berechnet werden, **Bild 10**.

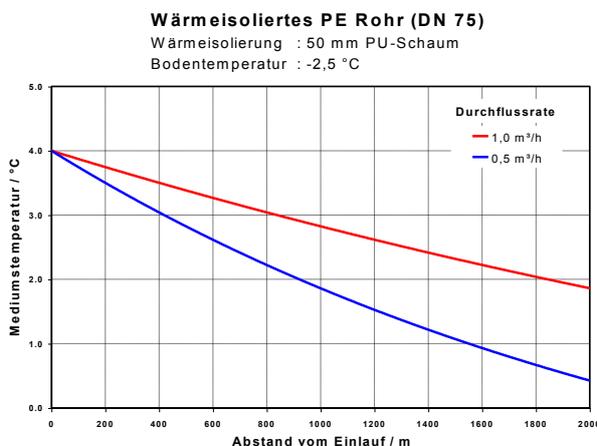


Bild 10 – Trinkwassertemperatur über der Leitungslänge bei unterschiedlicher Durchflussrate

Bei gegebener Einlauf-temperatur, Wärmeisolierung und Bodentemperatur können Durchflussraten und Leitungslängen ermittelt werden, für die eine unzulässige Abkühlung bzw. Erwärmung ausgeschlossen werden kann.

5 Ermittlung der Eingabegrößen

5.1 Design-Frostindex F_{ID}

Der Design-Frostindex F_{ID} wird durch Multiplikation des Frostindex des Bemessungswinters F_{IL} mit

einem Bewertungsfaktor $f_s \cong 0,85$ berechnet. Dieser Faktor spiegelt die Einordnung des Bemessungswinters in das langjährige Wintergeschehen wider und basiert auf einer Auswertung der Temperaturmessdaten für den Standort Stuttgart über einen Zeitraum von 30 Jahren. Der Design-Frostindex ergibt sich somit nach folgender Beziehung:

$$F_{ID} = F_{IL} \times f_s,$$

mit F_{IL} = Frostindex des Bemessungswinters

$$f_s = 0,85$$

Die Frostindizes F_{IL} des Bemessungswinters wurden für 26 Standorte in Baden-Württemberg ermittelt. Die auf Basis dieser Daten erfolgte Kartierung ist in **Bild 11** dargestellt.

5.2 Design-Schneehöhe h_{SD}

Die Schneebedeckung während einer Frostperiode hängt nicht nur von klimatischen Faktoren ab. Entscheidend ist, ob und in welchem Maß die Oberfläche über der Wasserleitung geräumt wird. Dementsprechend wird die Design-Schneehöhe (h_{SD}) durch Multiplikation der mittleren Schneehöhe während der maßgeblichen Frostperiode des Bemessungswinters h_{sm} mit einem Klimafaktor f_k und einem Oberflächenfaktor f_o ermittelt.

$$h_{SD} = h_{sm} \times f_k \times f_o$$

mit h_{sm} = Mittlere Schneehöhe während der maßgeblichen Frostperiode des Bemessungswinters

Durch den Klimafaktor f_k erfolgt die Bewertung des Bemessungswinters im Kontext der langjährigen Wintersituation. Dabei werden nur Winter mit Frostindizes $F_{IL} > 100$ °Cd berücksichtigt. Der Faktor f_k ist definiert als Quotient aus dem langjährigen Mittelwert der mittleren Schneehöhen während der maßgeblichen Frostperiode der Winter mit Frostindizes > 100 °Cd (H_{sm}) und der mittleren Schneehöhe während der maßgeblichen Frostperiode des Bemessungswinters (h_{sm})

$$f_k = H_{sm}/h_{sm}$$

Aufgrund der Auswertung für den Standort Stuttgart kann für Baden-Württemberg ein Klimafaktor von

$$f_k = 0,8$$

verwendet werden.

Der Oberflächenfaktor kann in Abhängigkeit der Schneeräumung wie folgt eingesetzt werden:

$f_o = 1,0$ für freie Vegetationsflächen, z. B. Wald, Wiese (ungeräumt)

$f_o = 0,5$ für Wohngebiete (teilweise geräumt)

$f_o = 0,0$ für Verkehrsflächen, z. B. Parkplätze, Zufahrtsstraßen (überwiegend geräumt)

Die mittleren Schneehöhen h_{sm} der maßgeblichen Frostperiode des Bemessungswinters wurden für 26 Standorte in Baden-Württemberg ermittelt. Die auf

Basis dieser Daten erfolgte Kartierung ist in **Bild 12** dargestellt.

5.3 Charakteristische Sommertemperatur $T_{0,max}$

Die charakteristische Sommertemperatur $T_{0,max}$ (s. Kapitel 3.4) wurde für 26 Standorte in Baden-Württemberg für den Bemessungssommer 1983 ermittelt, **Tabelle 1**. Der größte Wert ergab sich für den Standort Freiburg i.Br. mit 22,7 °C.

Stationsname	Stationshöhe m ü. N.N.	Geographische		Charakteristische
		Länge Grad	Breite Grad	Sommertemperatur $T_{0,max}$ °C
Aulendorf-Spiegler	560	9,65	47,97	19,9
Baden-Baden-Geroldsau	240	8,23	48,72	21,9
Buchen, Kr. Neckar-Odenwald	350	9,30	49,52	20,5
Crailsheim-Ingersheim	417	10,07	49,12	20,3
Donaueschingen	677	8,50	47,93	18,6
Ellwangen/Jagst	443	10,12	48,97	19,5
Freiburg i.Br.	300	7,85	48,00	22,7
Freudenstadt	797	8,40	48,45	18,3
Hechingen	520	8,97	48,37	19,9
Heilbronn	167	9,23	49,13	21,5
Isny	712	10,03	47,68	18,5
Karlsruhe	112	8,35	49,03	22,6
Klippeneck	973	8,75	48,10	18,01
Mannheim	96	8,55	49,50	22,4
Münsingen-Apfelstetten	750	9,48	48,38	18,8
Öhringen	276	9,52	49,20	20,7
Pforzheim-Eutingen	246	8,73	48,90	20,5
Schömburg, Kr. Calw	635	8,63	48,78	18,8
Schopfheim	400	7,83	47,63	20,8
Schwäbisch Gmünd-Strassdorf	415	9,80	48,77	20,8
Sigmaringen-Laiz	580	9,18	48,07	19,8
Stuttgart (Schnarrenberg)	314	9,20	48,82	21,2
Überlingen/Bodensee	490	9,18	47,77	21,1
Ulm	567	9,95	48,38	20,3
Villingen-Schwenningen	720	8,45	48,03	18,4
Weingarten, Kr. Ravensburg	440	9,62	47,80	20,7

Tabelle 1 – Charakteristische Sommertemperaturen $T_{0,max}$ für 26 Standorte innerhalb Baden-Württemberg für den Bemessungssommer 1983

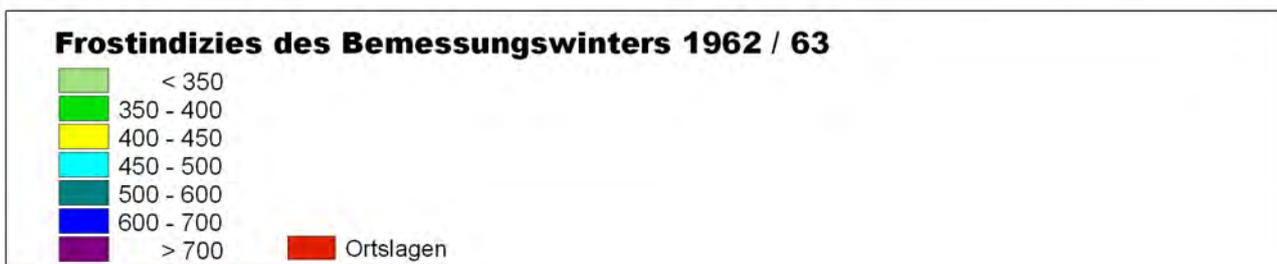
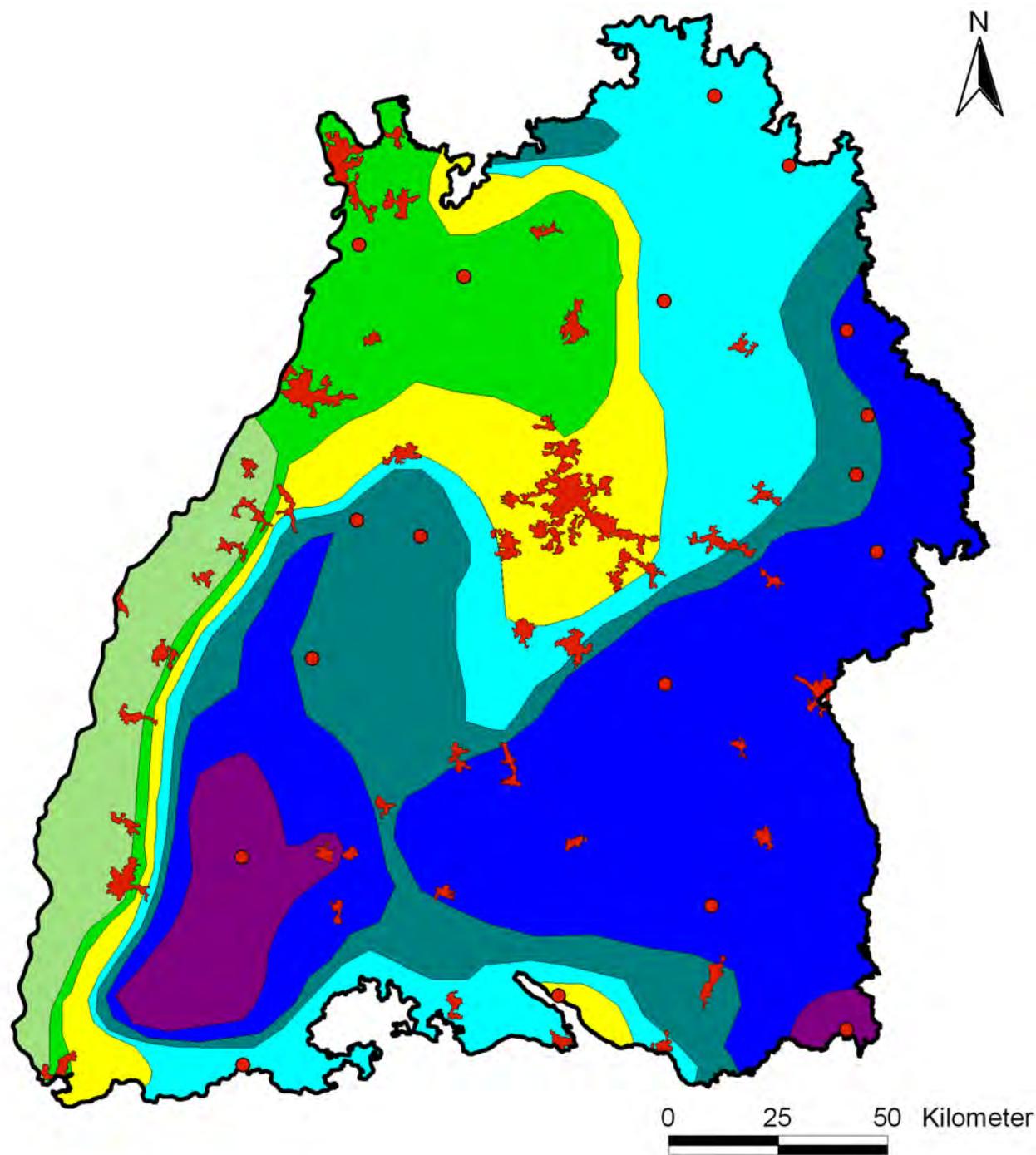


Bild 11 – Frostindizes des Bemessungswinters 1962/63

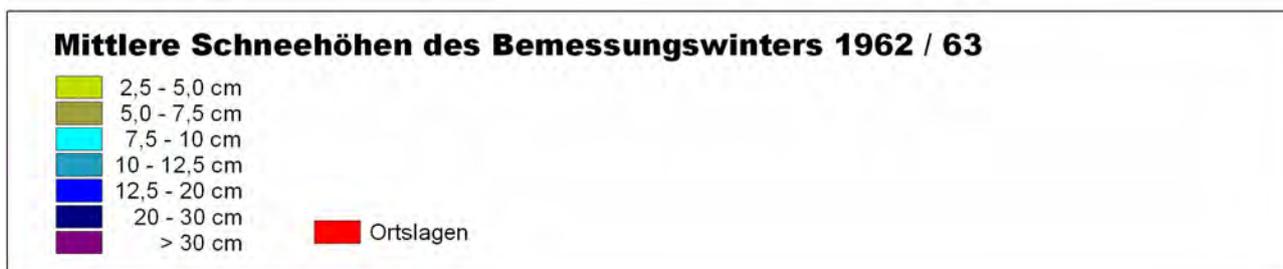
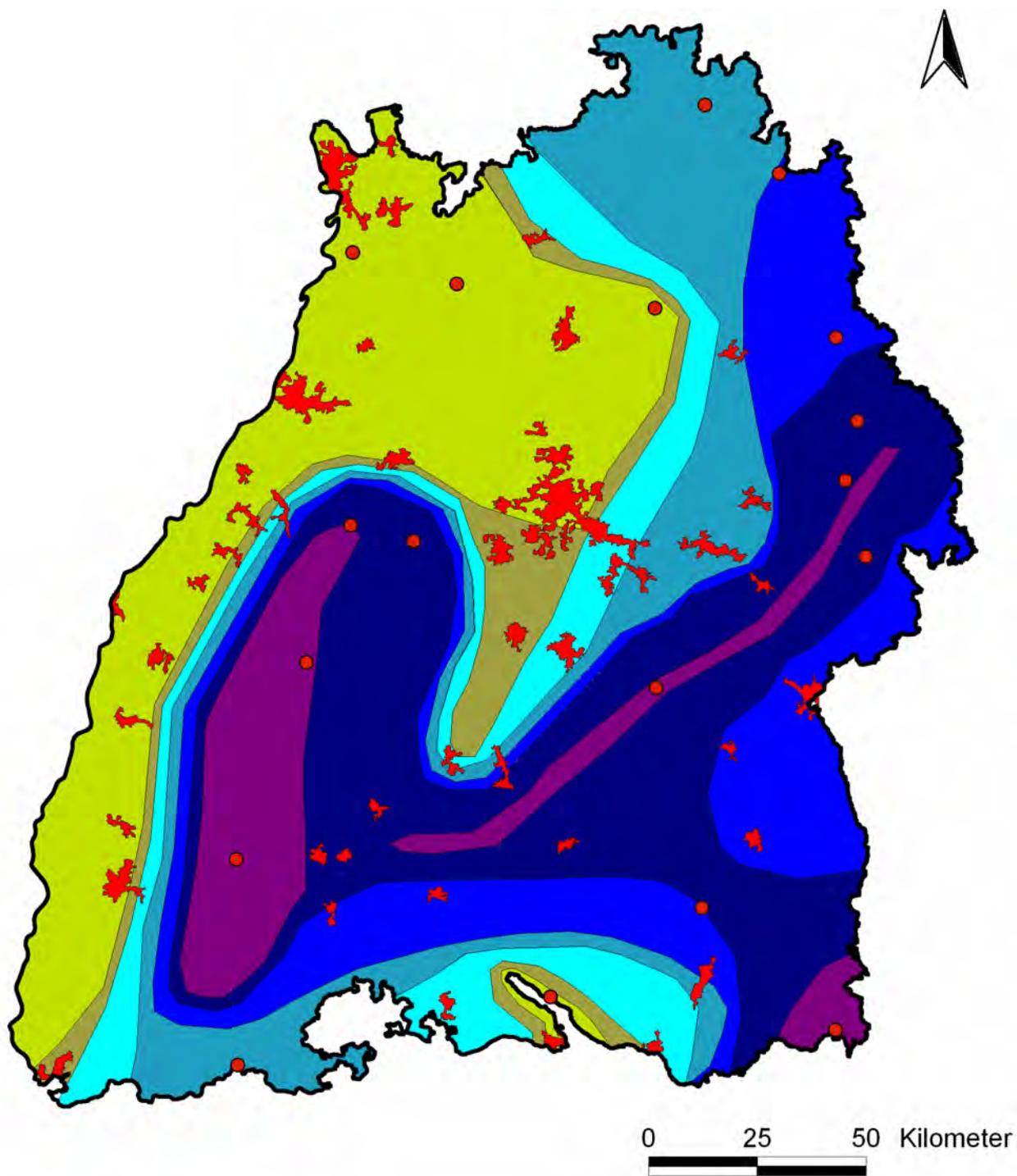


Bild 12 – Mittlere Schneehöhen während der maßgeblichen Frostperiode des Bemessungswinters 1962/63

5.4 Maximal zulässige Trinkwassertemperatur

$T_{S,zul}$

In der Trinkwasserverordnung wird generell gefordert, dass Trinkwasser „kühl sein“ muss, um eine unzulässige Verkeimung zu vermeiden. Bei der Erstellung dieser Leitlinie wurde als Obergrenze der Trinkwassertemperatur ein Wert von $T_{S,zul} = 25^{\circ}\text{C}$ zugrunde gelegt.

5.5 Maßgebliche Bodenklasse

Die örtlich vorhandenen Bodenprofile können sehr unterschiedlich sein. Deshalb wurden im Sinne einer abdeckenden Betrachtung bei der Ermittlung der Auslegungskurven für die Wintersituation drei charakteristische homogene Bodenprofile zugrunde gelegt:

- schluffig, sandig, kiesige Böden (Kieskornanteil $\leq 40\%$, Korn- \varnothing 2 mm bis 10 mm, Trockendichte: 2000 kg/m^3 , Wassergehalt: 5 Gewichts-%)
- lehmig, tonige Böden (Trockendichte: 1400 kg/m^3 , Wassergehalt: 20 Gewichts-%)
- überwiegend lehmig, tonige Böden mit Stein-, Kies- oder Sandanteilen (Trockendichte: 1750 kg/m^3 , Wassergehalt: 5 Gewichts-%)

Durch diese Bodenklassen kann eine Vielzahl der vorkommenden Bodenprofile abdeckend erfasst werden. Die wärmephysikalischen Kennwerte dieser Bodenklassen wurden anhand numerischer Temperaturfeldberechnungen so kalibriert, dass vorliegende Messdaten in konservativer Weise beschrieben werden konnten.

Diese Vorgehensweise erfordert eine Klassierung der örtlichen Bodenprofile, d.h. die örtlich vorhandenen Bodenverhältnisse müssen einer der o.g. Bodenklassen zugeordnet werden. Ist eine eindeutige Zuordnung nicht möglich, ist diejenige Bodenklasse als maßgeblich zu betrachten, für die größere Überde-

ckungshöhen ausgewiesen werden. Dies betrifft vor allem lehmig, tonige Böden, bei denen nicht zu vernachlässigende Anteile von groben Steinen, Kies oder Sand das Eindringen des Frostes in den Boden begünstigen.

Vom *Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg* in Freiburg wurden Bodenübersichtskarten von Baden-Württemberg bereitgestellt. Darin sind 54 bodenkundliche Einheiten enthalten, die durch die Angabe von Leitbodenformen, bestehend aus Bodentyp und Ausgangsmaterial der Bodenbildung näher gekennzeichnet sind. Mit fachlicher Unterstützung durch das *Institut für physikalische Geographie der Universität Stuttgart* wurden diese Darstellungen dahingehend ausgewertet, ob ein überwiegend sandig-schluffiger (darunter fallen auch kiesige und steinige Böden) oder lehmig-toniger Boden vorliegt, **Tabelle 2**.

Für eine konservative Abschätzung der Frosteindringtiefen ist diese vereinfachte Klassierung in sandig-kiesigen und in lehmig-tonigen Böden ausreichend. Im Einzelfall ist zu überprüfen, ob die zugrunde gelegte Bodenklasse auch den lokalen Verhältnissen entlang der Leitungsführung entspricht. Erforderlichenfalls kann eine weitere Differenzierung für überwiegend lehmig, tonige Böden mit Stein-, Kies- oder Sandanteilen vorgenommen werden (s. Kapitel 6.2.1 und 6.2.2). Dies ist erforderlich da teilweise starke lokale Unterschiede vorliegen können, wie z. B. in Besiedlungsgebieten oder entlang von Bach- und Flussläufen.

Das Ergebnis der Klassierung wurde in eine Bodenkarte übertragen und ist in **Bild 13** dargestellt. Für die rot dargestellten Ortslagen waren keine Daten verfügbar. Hier ist abzuschätzen, ob die Bodenverhältnisse der Umgebung angenommen werden können.

Nr.	Leitbodenform	Klassierung	Bindigkeit
1	Rendzinen aus Kalksteinschutt und -zersatz	SS	nb
2	Rendzinen und Pararendzinen aus Kalkstein- und Mergelsteinzersatz sowie Juranagelfluh	SS	nb
3	Rendzinen und Parabraunerden aus Kalksteinzersatz und Lößlehm	LT	b
4	Rendzinen und Terra fusca aus Kalksteinzersatz und -verwitterungslehm	LT	b
5	Pararendzinen aus Schotter	SS	nb
6	Pararendzinen aus Flug- und Terrassensand	SS	nb
7	Pararendzinen aus Löß	SS	nb
8	Pararendzinen aus Geschiebemergel und Beckensedimenten	LT	b
9	Pararendzinen aus Tuff	SS	nb
10	Pararendzinen aus Fließerden und Mergelsteinzersatz	LT	b
11	Pararendzinen und Pelosole aus Fließerden	LT	b
12	Pararendzinen und Pelosole aus Molassesedimenten	LT	b
13	Pararendzinen und Braunerden aus Fließerden	LT	b
14	Pararendzinen und Terra fusca aus Mergelsteinzersatz und Kalksteinverwitterungslehm	LT	b
15	Tschernoseme aus Löß	SS	nb
16	Pelosole aus Fließerden	LT	b
17	Pelosole aus Molassesedimenten	LT	b
18	Pelosole und Rendzinen aus Fließerden, Kalksteinschutt und -zersatz	LT	b
19	Pelosole und Braunerden aus Fließerden	LT	b
20	Pelosole und Braunerden aus Beckensedimenten	LT	b
21	Pelosole und Parabraunerden aus Fließerden und Lößlehm	LT	b
22	Pelosole und Pseudogleye aus Fließerden	LT	b
23	Pelosole und Pseudogleye aus Beckensedimenten	LT	b
24	Braunerden und Parabraunerden aus Schotter und Terrassensedimenten	SS	nb
25	Braunerden und Parabraunerden aus Flug- und Terrassensand	SS	nb
26	Parabraunerden aus Löß und Lößlehm	LT	b
27	Braunerden und Parabraunerden aus Geschiebemergel und Beckensedimenten	LT	b
28	Braunerden und Parabraunerden aus Hochflutlehm	LT	b
29	Braunerden und Parabraunerden aus Feuersteinlehm	LT	b
30	Braunerden aus sandigen Fließerden und Schuttdecken	SS	nb
31	Braunerden und Parabraunerden aus lehmigen und tongründigen Fließerden	LT	b
32	Braunerden und Parabraunerden aus Molassesedimenten	SS	nb
33	Braunerden und Podsole aus Schuttdecken	SS	nb
34	Braunerden und Pseudogleye aus Fließerden	LT	b
35	Parabraunerden und Pseudogleye aus Lößlehm	LT	b
36	Parabraunerden und Pseudogleye aus Geschiebemergel	LT	b
37	Podsole aus Schuttdecken und Gesteinszersatz	SS	nb
38	Terra fusca aus Kalksteinverwitterungslehm	LT	b
39	Grauplastosole aus Tuffzersatz	LT	b
40	Pseudogleye aus Lößlehm	LT	b
41	Pseudogleye aus Bohnerz-, Feuerstein- und Geschiebelehm	LT	b
42	Pseudogleye aus Fließerden	LT	b
43	Stagnogleye und Staubändchenpodsole aus Schuttdecken und Sandsteinzersatz	SS	nb
44	Auenpararendzinen und Braune Auenböden	LT	b
45	Braune Auenböden bis Auengleye	LT	b
46	Auengleye	LT	b
47	Gleye und Braunerden	LT	b
48	Gleye	LT	b
49	Gleye und Pseudogleye	LT	b
50	Anmoorgleye und Naßgleye	LT	b
51	Moore	-	-
52	Kolluvien	LT	b
53	Hortisole	-	-
54	Bodenmosaik	LT	b
55	Ortslagen	-	-

SS = sandige, schluffige, kiesige, steinige Böden

LT = lehmige, tonige Böden

b = bindig, nb = nichtbindig

Tabelle 2 – Klassierung der Leitbodenformen

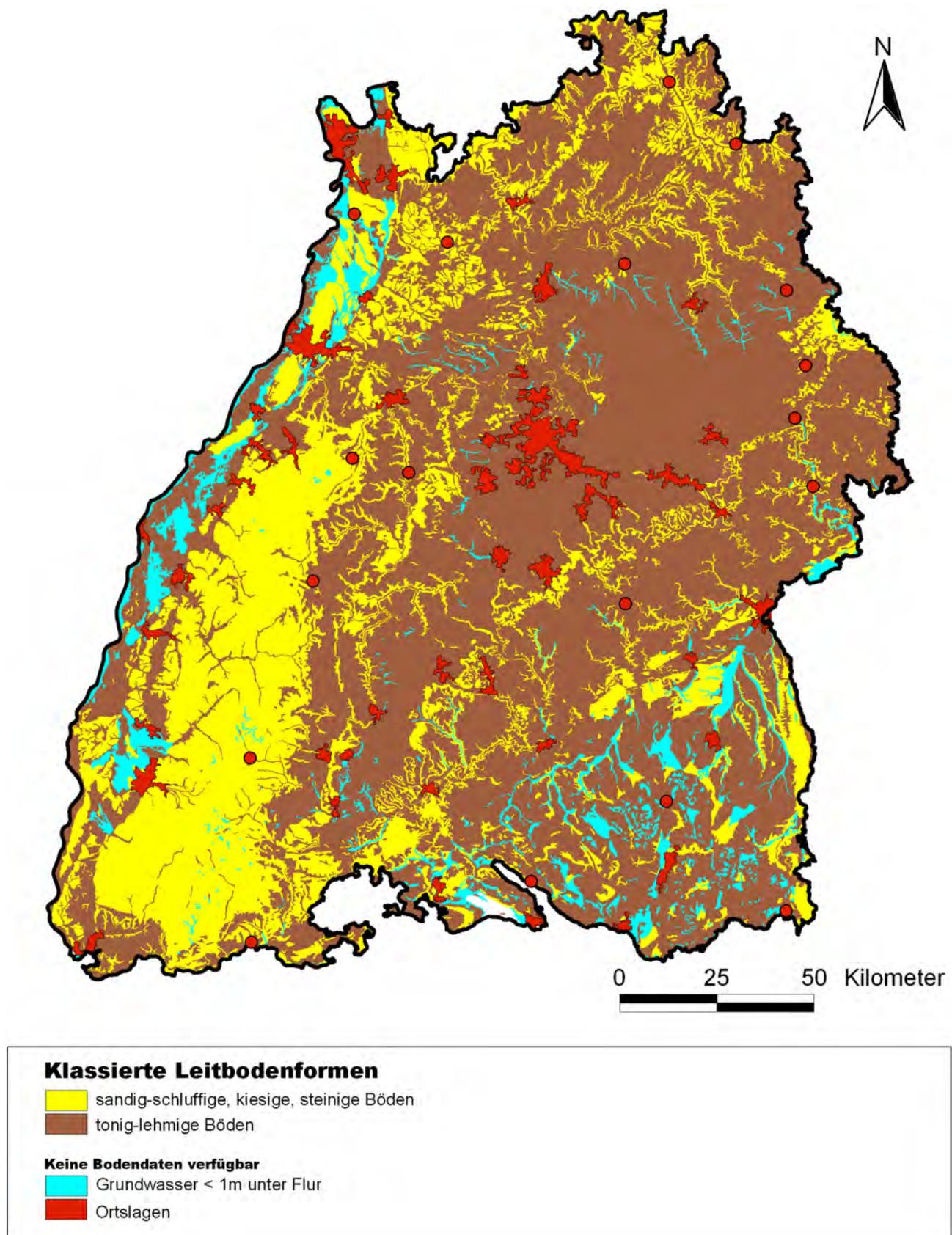


Bild 13 – Klassierte Leitbodenformen

5.6 Maßgebliche Oberflächenbeschaffenheit

Im Winter wird das Eindringen des Frostes in den Boden wesentlich durch die Schneebedeckung beeinflusst. Je nach örtlichen Verhältnissen ist von einer ungeräumten, teilweise oder vollständig geräumten Schneedecke auszugehen. Diese Charakterisierung ist maßgeblich für die Festlegung der Design-Sneehöhe (s. o.).

Im Sommer hat die Oberflächenbeschaffenheit maßgeblichen Einfluss auf die Erwärmung des Untergrundes. Deshalb werden hier drei Fälle unterschieden.

Der **Regelfall** geht davon aus, dass 50 % der Oberfläche befestigt und der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt sind. Damit wird dem Sachverhalt Rechnung getragen, dass z. B. in Wohngebieten nicht die gesamte Oberfläche befestigt ist und auch ein Teil der Oberfläche durch Vegetation oder Bebauung beschattet wird.

Bei **Extremfall 1** wird von einer 100% befestigten Oberfläche ausgegangen, die der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist. Dies kann z. B. bei großen öffentlichen Plätzen der Fall sein.

Der **Extremfall 2** geht von einer insgesamt naturbelassenen Oberfläche aus, die der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist. Dies kann z. B. bei freien Vegetationsflächen (Wiesen) oder größeren Rasenflächen gegeben sein.

Die örtlichen Verhältnisse müssen einem dieser Fälle zugeordnet werden.

5.7 Maßgebliche Oberflächenbefestigung

Innerhalb von Siedlungsgebieten erfolgt die Verlegung von Wasserleitungen in der Regel unterhalb befestigter oder teilweise befestigter Oberflächen. Der Aufbau der lokal vorhandenen Oberflächenbefestigung ist deshalb eine wichtige Eingangsgröße zur Ermittlung der erforderlichen Überdeckungshöhe. Im DVGW Hinweis W 397 werden vier unterschiedliche Arten befestigter Oberflächen berücksichtigt, im Folgenden bezeichnet als SA0, SA1, SA2 und SA3, **Bild 14**.

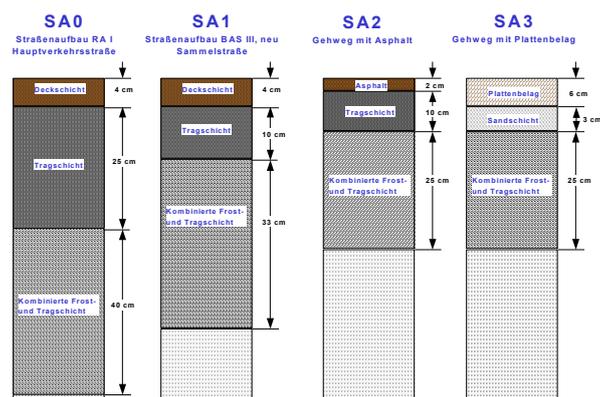


Bild 14 – Charakteristische Oberflächenbefestigungen

SA0: Typischer Straßenaufbau (Bauklasse I) für Hauptverkehrsstraße (Straßen mit erheblicher Verkehrsbedeutung)

SA1: Typischer Straßenaufbau (Bauklasse IV, BAS III, neu) für Sammelstraße, Fußgängerzone mit Ladenverkehr, Haltestreifen in Busbahnhöfen, Busbuchten)

SA2: Typischer Gehwegaufbau mit Asphaltoberfläche für Rad- und Gehwege

SA3: Typischer Gehwegaufbau mit Plattenbelag für Rad- und Gehwege

Aus diesen vier Oberflächenbefestigungen ist diejenige als maßgeblich auszuwählen, die die örtlichen Verhältnisse am Besten beschreibt.

Bei sandig, kiesigen Böden hat die Oberflächenbefestigung nur einen geringen Einfluss auf die Frosteintrittstiefe. Bei lehmig, tonigen Böden dagegen steigt mit zunehmender Dicke des Straßenaufbaus die Frosteintrittstiefe an.

5.8 Qualitative Einordnung weiterer Einflussfaktoren

5.8.1 Wärmedämmungen

Wärmedämmungen verzögern oder verhindern bei kontinuierlich durchströmten Wasserleitungen das Einfrieren bzw. unzulässige Erwärmungen. Kurze Stagnationsphasen (< 1 Tag) können durch wärmeisolierende Maßnahmen wie z. B. die Verlegung in einem mit luft- oder schaumstoffgefüllten Mantelrohr überbrückt werden. Auch bei längeren Stagnationszeiten können Wärmedämmungen das Einfrieren der Wasserleitung verzögern. Wird eine Verlegung im Bereich der Mindestüberdeckung angestrebt, so bietet z. B. die Verlegung in einem Mantelrohr zusätzliche Sicherheit gegen Einfrieren. Dabei muss verhindert

werden, dass Wasser oder Außenluft in das Mantelrohr eindringen.

5.8.2 Armaturen

Sind in den Rohrleitungsstrang Armaturen eingebaut, so wird die erforderliche Überdeckung durch die Oberkante der Armatur bestimmt, d. h. die Oberkante der Armatur muss unterhalb der maßgeblichen Mindestüberdeckung liegen. Wärmedämmungen können sich hier negativ auswirken. Ist z. B. ein bis in den Frostbereich reichendes Gestänge montiert, wird durch die Wärmedämmung der Wärmezustrom aus dem Untergrund verringert und über das Gestänge Wärme aus der Armatur abgeführt, so dass in bestimmten Fällen ein Einfrieren der Armatur nicht ausgeschlossen werden kann.

5.8.3 Humusschichten

Bei naturbelassenen Böden sind häufig Humusschichten an der Oberfläche vorhanden. Diese wirken vor allem bei sandigen oder kiesigen Böden dem Eindringen des Frostes entgegen. In der vorliegenden Leitlinie wurden bei der Ermittlung der Überdeckung keine Humusdecken berücksichtigt, so dass bei der Verlegung unter freien Vegetationsflächen zusätzliche Reserven gegenüber dem Einfrieren vorhanden sein können.

5.8.4 Grundwasser

Hochstehende Grundwasserspiegel wirken dem Eindringen des Frostes in den Boden entgegen. Dies ist verstärkt dann der Fall, wenn durch Zustrom von Grundwasser ein laufender Wärmeintrag in die grundwasserführende Schicht erfolgt. Bei stehendem Grundwasser dürfte sich der Einfluss auf die unmittelbare Nähe zum Grundwasserspiegel beschränken.

6 Ermittlung der erforderlichen Überdeckung

6.1 Vorgehensweise

Die vorliegende Leitlinie enthält Angaben über die erforderliche Überdeckung von Trinkwasserleitungen in Form von geographischen Karten, **Bild 15** bis **Bild 18**. Für die häufigsten Anwendungsfälle kann die erforderliche Überdeckung direkt aus der jeweiligen Karte entnommen werden. Bild 15 bietet anhand der eingezeichneten Ortslagen eine Orientierungshilfe zur Lokalisierung des eigenen Standortes.

Eine wichtige Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Karten sind die zugrundeliegenden bodenkundlichen Einheiten und die daraus abgeleiteten klassier-

ten Leitbodenformen, Bild 13. Da diese kleinräumig sehr unterschiedlich sein können, muss vor Anwendung der jeweiligen Karte überprüft werden, ob die örtlichen Bodenverhältnisse durch die ausgewiesenen Leitbodenformen zutreffend charakterisiert werden. Ist dies nicht der Fall, kann die erforderliche Überdeckung für den jeweiligen Anwendungsfall anhand von spezifischen Designkurven (s.u.) ermittelt werden.

6.2 Anwendungsfälle

Die vorliegende Leitlinie beinhaltet folgende drei Anwendungsfälle:

Anwendungsfall 1: Verlegung unterhalb unbefestigter Oberflächen bei stagnierendem Durchfluss

Anwendungsfall 2: Verlegung unterhalb befestigter Oberflächen bei stagnierendem Durchfluss

Anwendungsfall 3: Verlegung wärmeisolierter Rohre unterhalb unbefestigter Oberflächen

Darin nicht erfasst werden:

- Straßenaufbauten mit einer Gesamtdicke ≥ 50 cm (z. B. SA0, siehe Bild 14)

- Großflächig befestigte Oberflächen unter direkter Sonneneinstrahlung (Sommersituation, Extremfall 1). Dies kann im Rheintal z.B. in den Bereichen Freiburg i.Br., Karlsruhe oder Mannheim eine größere Überdeckungshöhe erfordern, um in den Sommermonaten ein Überschreiten der maximal zulässigen Trinkwassertemperatur zu verhindern.

- Stets vollständige Schneeräumung im Winter.

In diesen Ausnahmefällen sind detailliertere Betrachtungen erforderlich. Entsprechende Vorgaben hierzu finden sich für den Hauptfall (siehe Bild 7) im DVGW Hinweis W 397.

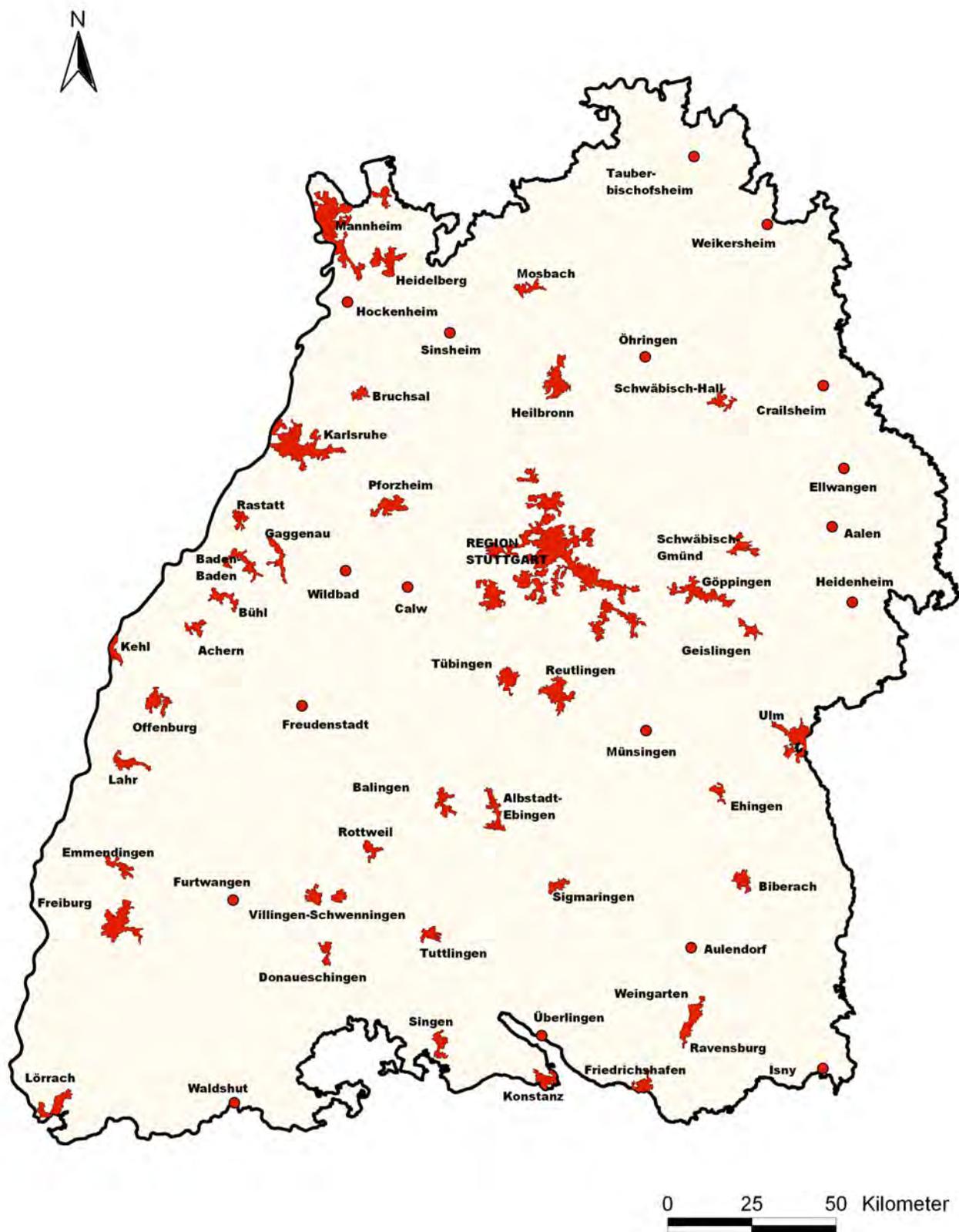


Bild 15 – Orientierungshilfe

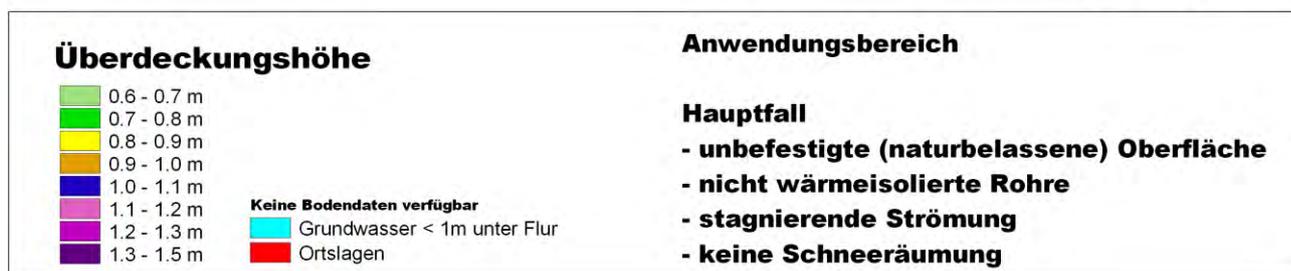
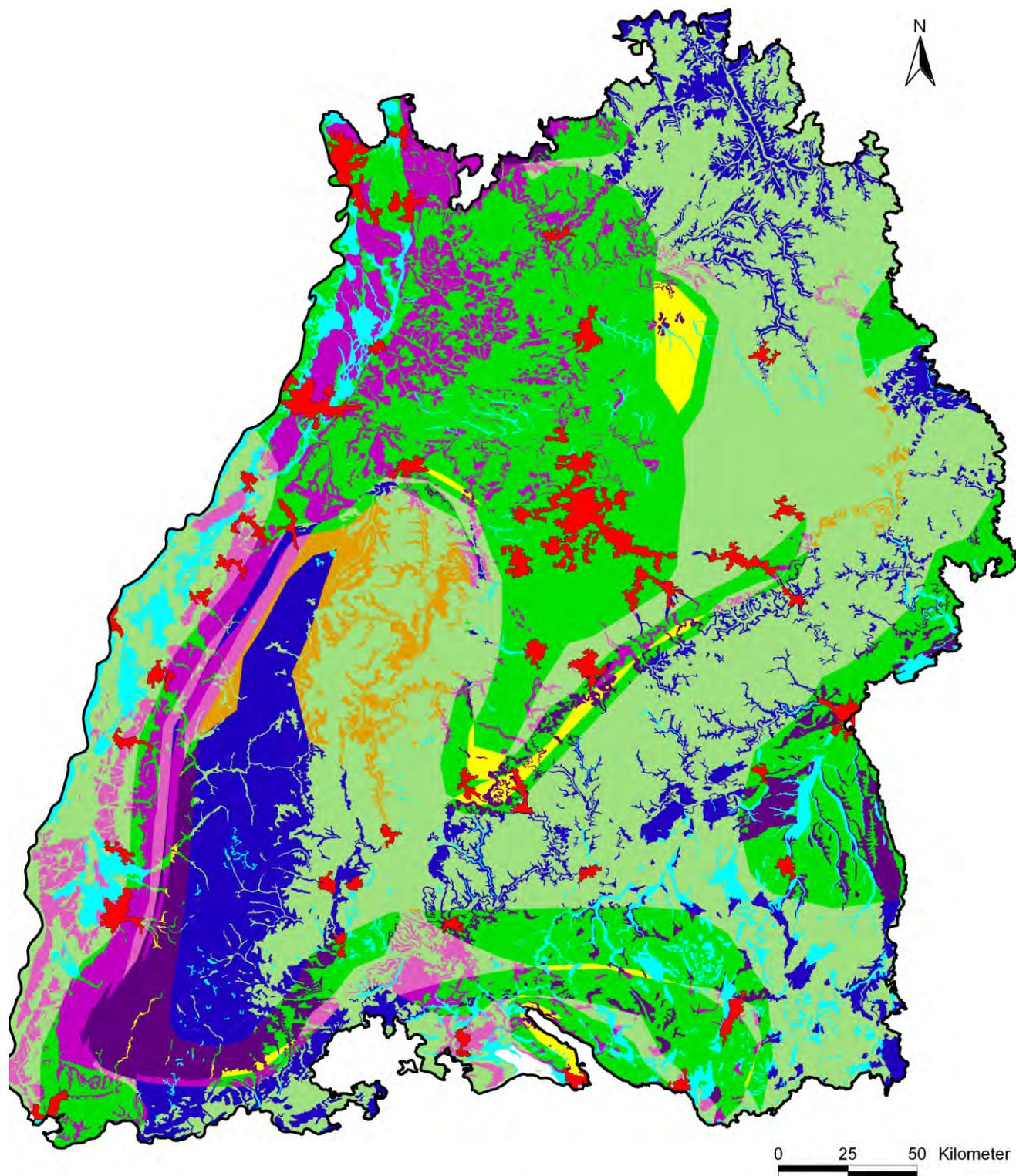


Bild 16 – Erforderliche Mindestüberdeckung - Anwendungsfall 1 (unbefestigte Oberfläche)

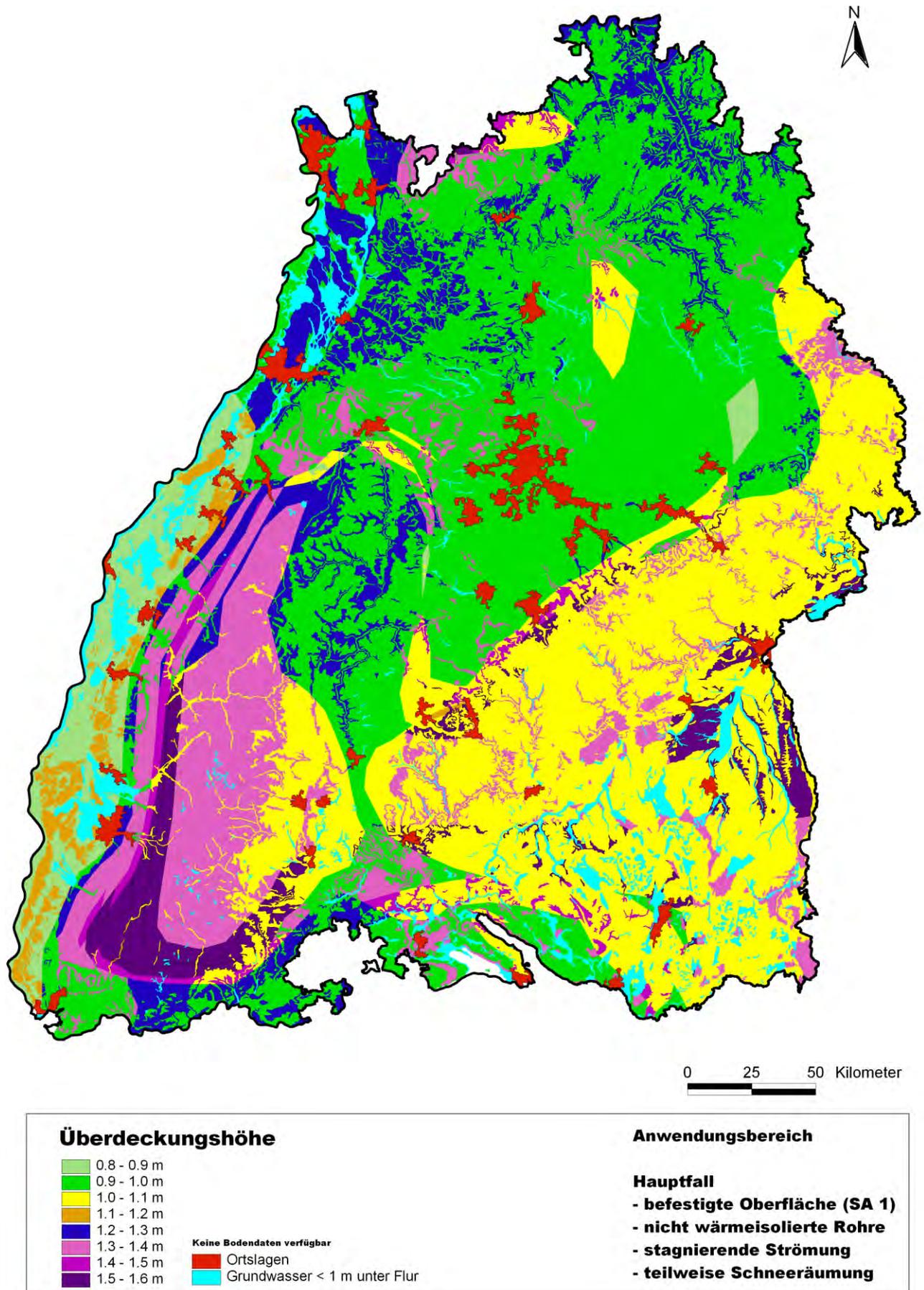
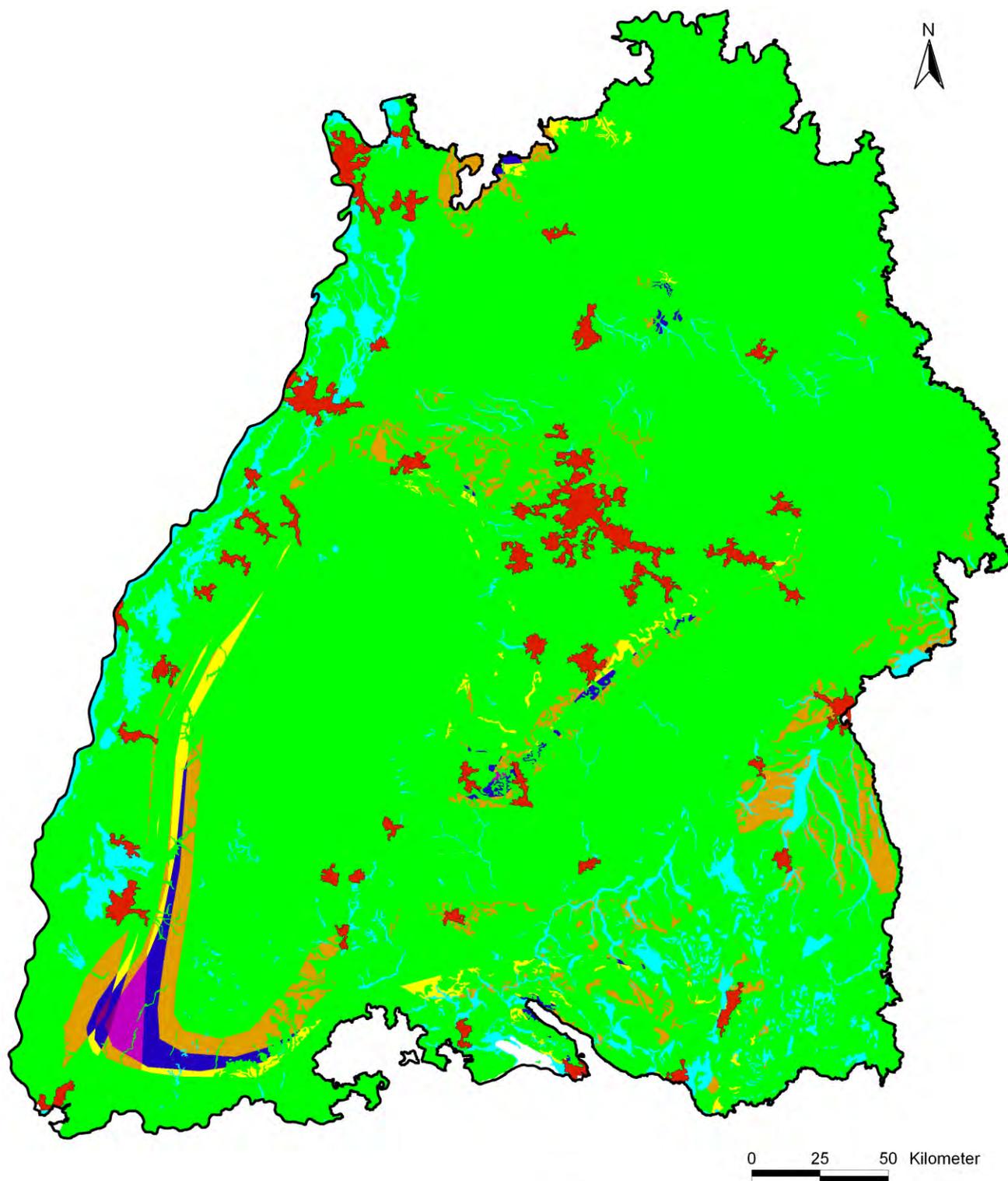


Bild 17 – Erforderliche Mindestüberdeckung - Anwendungsfall 2 (befestigte Oberfläche)



Überdeckungshöhe		Anwendungsbereich	
■ 0.6 m		Sonderfall	
■ 0.6 - 0.7 m		- unbefestigte (naturbelassene) Oberfläche	
■ 0.7 - 0.8 m		- wärmeisolierte Rohre	
■ 0.8 - 0.9 m	Keine Bodendaten verfügbar	- kontinuierliche Strömung	
■ 0.9 - 1.0 m	■ Ortslagen	- keine Schneeräumung	
■ 1.0 - 1.1 m	■ Grundwasser < 1 m unter Flur		

Bild 18 – Erforderliche Mindestüberdeckung - Anwendungsfall 3 (kontinuierlicher Durchfluss)

6.2.1 Verlegung unterhalb unbefestigter Oberflächen bei stagnierendem Durchfluss

Die für diesen Anwendungsfall maßgebliche Karte ist in **Bild 16** dargestellt. Dieser Anwendungsfall berücksichtigt die Verlegung von Trinkwasserleitungen unterhalb unbefestigter, naturbelassener Oberflächen bei stagnierendem Durchfluss (Hauptfall).

Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Oberfläche im Winter ungeräumt ($f_o = 1,0$) und im Sommer der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist (Extremfall 2). Die erforderliche Mindestüberdeckung für die Sommersituation ist hierbei < 60 cm. Dies gilt für eine maximal zulässige Trinkwassertemperatur von $T_{S,zul} < 25^\circ\text{C}$. Im Vergleich dazu sind die erforderlichen Mindestüberdeckungen für die Wintersituation in ganz Baden-Württemberg größer, so dass in bezug auf unbefestigte Oberflächen die Wintersituation führend ist.

Unter Verwendung der in Kapitel 5 beschriebenen Eingabegrößen kann die erforderliche Mindestüberdeckung auch anhand der nachfolgenden Design-Kurven für unterschiedliche Bodenverhältnisse ermittelt werden, **Bild 19 bis Bild 21**. Dies ist dann erforderlich, wenn die lokalen Bodenverhältnisse nicht den in Bild 13 dargestellten Leitbodenformen entsprechen.

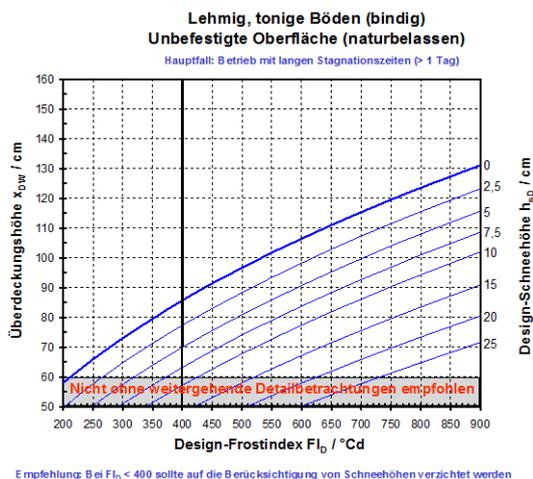


Bild 19 – Erforderliche Überdeckungshöhe X_{DW} für lehmig, tonige Böden (bindig) mit unbefestigter (naturbelassener) Oberfläche

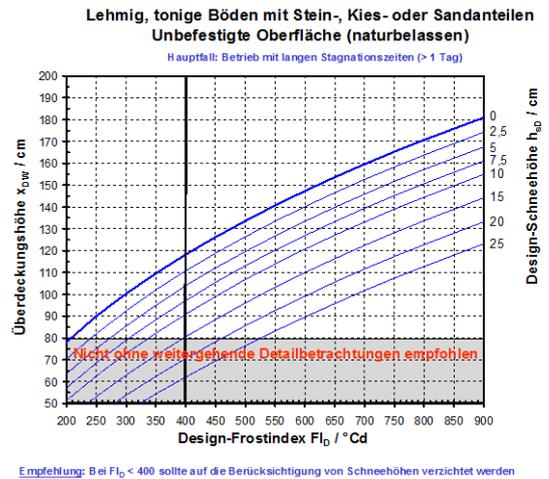


Bild 20 – Erforderliche Überdeckungshöhe X_{DW} für lehmig, tonige Böden mit Stein-, Kies- oder Sandanteilen und unbefestigter (naturbelassener) Oberfläche

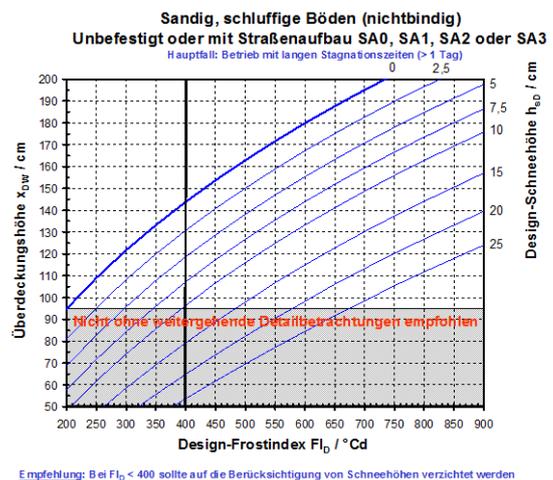


Bild 21 – Erforderliche Überdeckungshöhe X_{DW} für sandig, schluffige Böden (auch kiesige oder überwiegend steinige Böden)

6.2.2 Verlegung unterhalb befestigter Oberflächen bei stagnierendem Durchfluss

Die für diesen Anwendungsfall maßgebliche Karte ist in **Bild 17** dargestellt. Dieser Anwendungsfall berücksichtigt die Verlegung von Trinkwasserleitungen bei stagnierendem Durchfluss (Hauptfall) unterhalb befestigter Oberflächen mit Straßenaufbau SA1 entsprechend Bild 14. Durch den Straßenaufbau SA1 sind ebenfalls SA2 und SA3 mit abgedeckt.

Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Oberfläche im Winter teilweise schneegeräumt ist ($f_o = 0,5$) und im Sommer die Oberfläche befestigt und zu 50% der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt ist (Regelfall). Durch diesen Anwendungsfall ist ebenfalls eine 50%ige Befestigung der Oberfläche bei voller Sonneneinstrahlung abgedeckt. Für eine maximal zuläs-

sige Trinkwassertemperatur von $T_{S,zul} < 25^{\circ}\text{C}$ sind in ganz Baden-Württemberg die für die Wintersituation ermittelten Überdeckungen maßgeblich ($X_{DW} > X_{DS}$).

Dementsprechend kann unter Verwendung der in Kapitel 5 beschriebenen Eingabegrößen die erforderliche Mindestüberdeckung auch anhand der nachfolgenden Design-Kurven für den Straßenaufbau SA1 und unterschiedliche Bodenverhältnisse ermittelt werden, **Bild 22 und Bild 23**. Dies ist dann erforderlich, wenn die lokalen Bodenverhältnisse nicht den in Bild 13 dargestellten Leitbodenformen entsprechen.

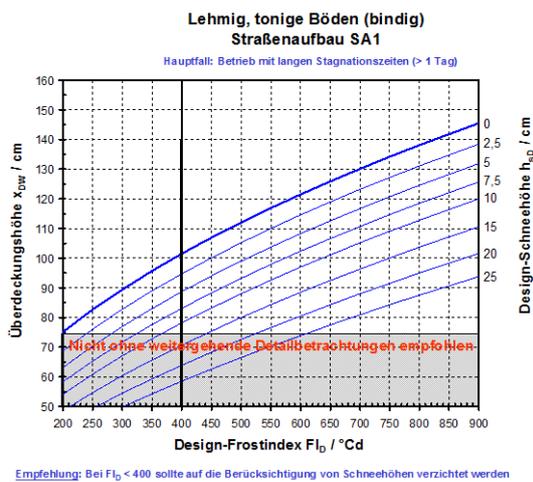


Bild 22 – Erforderliche Überdeckungshöhe X_{DW} für lehmig, tonige Böden (bindig) mit befestigter Oberfläche - Straßenaufbau SA1

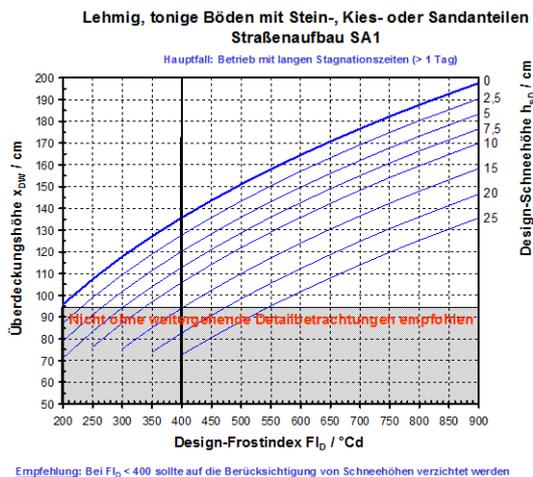


Bild 23 – Erforderliche Überdeckungshöhe X_{DW} für lehmig, tonige Böden mit Stein-, Kies- oder Sandanteilen und Straßenaufbau SA1

Für überwiegend sandige, kiesige oder steinige Böden ist der Straßenaufbau von untergeordneter Bedeutung. Die entsprechende Überdeckung kann anhand der Design-Kurven in Bild 21 ermittelt werden.

6.2.3 Verlegung wärmeisolierter Rohre unterhalb unbefestigter Oberflächen

Dieser Anwendungsfall gilt für die Verlegung wärmeisolierter Trinkwasserleitungen (Sonderfall) unterhalb unbefestigter, naturbelassener Oberflächen. Analog zu Anwendungsfall 1 wird davon ausgegangen, dass die Oberfläche im Winter ungeräumt ($f_o = 1,0$) und im Sommer der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist (Extremfall 2, $T_{S,zul} < 25^{\circ}\text{C}$). Die maßgebliche Karte ist in **Bild 18** dargestellt.

Wichtige Voraussetzungen

Der Anwendungsbereich beschränkt sich auf die in **Bild 24** dargestellte Rohrleitungsabmessung und Wärmedämmung sowie die in **Tabelle 3** ausgewiesenen Betriebsbedingungen und zugehörigen Rohrleitungslängen.

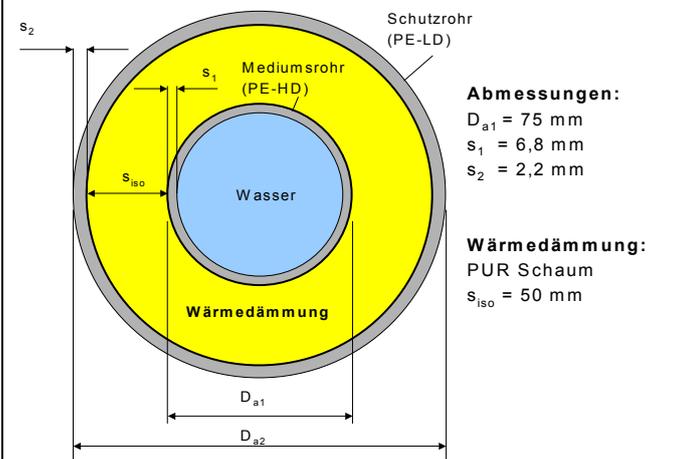


Bild 24 – Rohrleitungsquerschnitt

Es ist sicherzustellen, dass die Mindest-Einlauftemperatur und die ausgewiesene Mindestdurchflussrate nicht unterschritten werden. Um die Mindest-Einlauftemperatur zu gewährleisten, ist es in der Regel erforderlich den Beginn der wärmeisolierten Rohrleitung unmittelbar an einen Wasserspeicher anzuschließen. Ein vorausgehender nicht wärmeisolierter Rohrleitungsabschnitt mit konventioneller Überdeckung (Hauptfall) kann dazu führen, dass sich die Temperatur des Trinkwassers an die Temperatur des umgebenden Erdreichs soweit angleicht, dass die geforderte Mindest-Einlauftemperatur u. U. deutlich unterschritten wird. Selbstverständlich lassen sich nachfolgende, konventionell verlegte Rohrleitungsabschnitte problemlos realisieren.

Durch Reduktion der zulässigen Leitungslänge ist es möglich, die erforderliche Mindestüberdeckung zu verringern, so dass bei der hier zugrunde liegenden Rohrleitung generell eine Überdeckung von 60 cm realisiert werden kann, **Tabelle 4**.

Mindest-Einlaufftemperatur	Minstdurchflussrate		Dicke der Wärmeisolation	Überdeckungshöhe	Maximale Leitungslänge
	°C	l/sec			
4	0,25	0,9	50	siehe Bild 18	3500
4	0,5	1,8	50	siehe Bild 18	7000
4	1,0	3,6	50	siehe Bild 18	14000

Anmerkung:

Angaben gelten für unbefestigte, naturbelassene Oberflächen ohne Schneeräumung und Rohre entsprechend Bild 24

Tabelle 3: Zulässige maximale Rohrleitungslänge bei Überdeckung entsprechend Bild 18

Mindest-Einlaufftemperatur	Minstdurchflussrate		Dicke der Wärmeisolation	Überdeckungshöhe	Maximale Leitungslänge
	°C	l/sec			
4	0,25	0,9	50	≥ 0,6	2000
4	0,5	1,8	50	≥ 0,6	4500
4	1,0	3,6	50	≥ 0,6	9000

Anmerkung:

Angaben gelten für unbefestigte, naturbelassene Oberflächen ohne Schneeräumung und Rohre entsprechend Bild 24.

Tabelle 4: Zulässige maximale Rohrleitungslänge bei Überdeckung ≥ 60 cm

7 Betriebserfahrungen mit wärmeisolierten Trinkwasserleitungen

7.1 Versuchsstrecke der EnBW Regional AG

Auf dem Gelände der EnBW Regional AG in Stuttgart wurde im Zeitraum von 23.01.2001 bis 19.07.2002 eine Versuchsstrecke für Hausanschlussleitungen betrieben. Die Versuchsstrecke bestand aus zwei ca. 10 m langen Leitungssträngen mit einer Überdeckung von ≈ 45 cm und unterschiedlicher Wärmeisolierung. Ein Leitungsstrang wurde in einem luftgefüllten Mantelrohr verlegt, der andere bestand aus einem speziellen, mit PU-Schaum wärmeisoliertem Kunststoffmantelrohr, **Bild 25**.

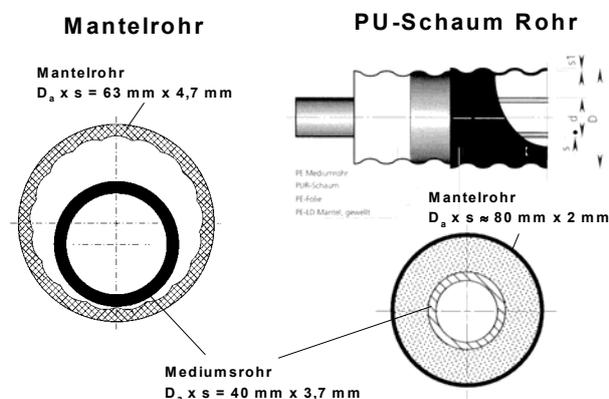


Bild 25 – Leitungsformen der EnBW Versuchsstrecke

An beiden Leitungsabschnitten und im umgebenden Boden waren Temperaturmessaufnehmer angebracht. Über eine automatische Messwerterfassungsanlage wurden die Temperaturen kontinuierlich aufgezeichnet, **Bild 26**.

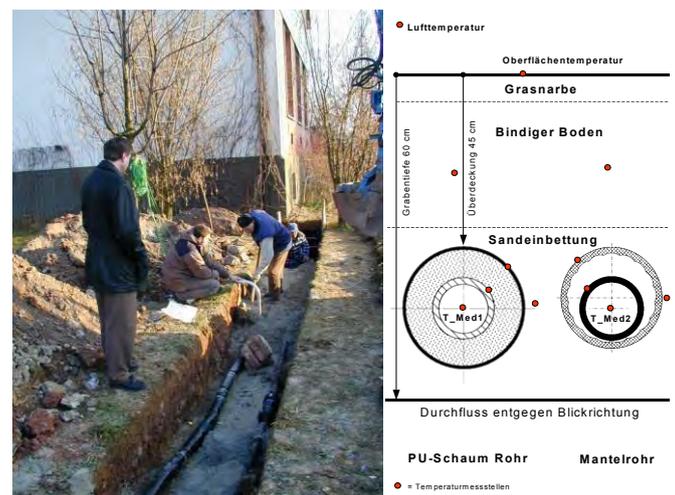


Bild 26 – Verlegung der Versuchsstrecke und Anordnung der Temperaturmessstellen

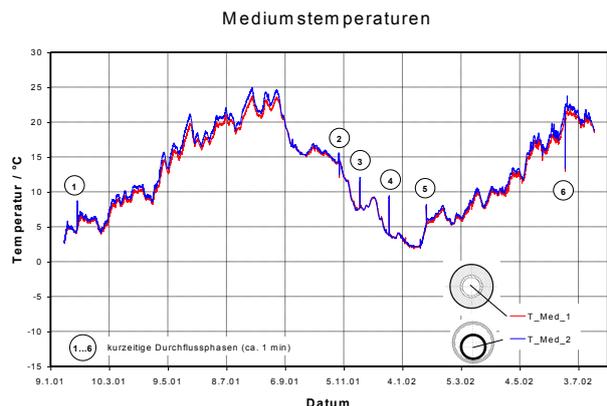


Bild 27 – Verlauf der Mediumstemperaturen über den gesamten Versuchszeitraum

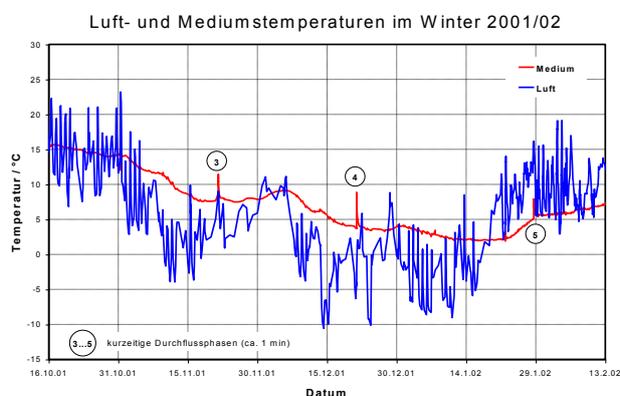


Bild 28 – Mediums- und Lufttemperaturen im Winter 01/02

Neben langfristig stagnierendem Betrieb wurden zwischenzeitliche kurze Durchflussphasen (ca. 1 min) realisiert, **Bild 27** und **Bild 28**. Der Verlauf der Mediumstemperaturen nach einer Durchflussphase zeigt, dass bei der vorliegenden Rohrgeometrie der mit PU-Schaum wärmeisolierte Leitungsstrang gegenüber dem luftgefüllten Mantelrohr einen kleineren Temperaturgradienten aufweist, d.h. die Isolierwirkung hier größer ist, **Bild 29**.

Durch die parallel zu den Messungen durchgeführten numerischen Berechnungen konnten die Mediumstemperaturen sowohl während den Stagnations- als auch den Durchflussphasen sehr gut wiedergegeben werden, **Bild 30**.

Gemessene Mediumstemperaturen im Sommer 2002

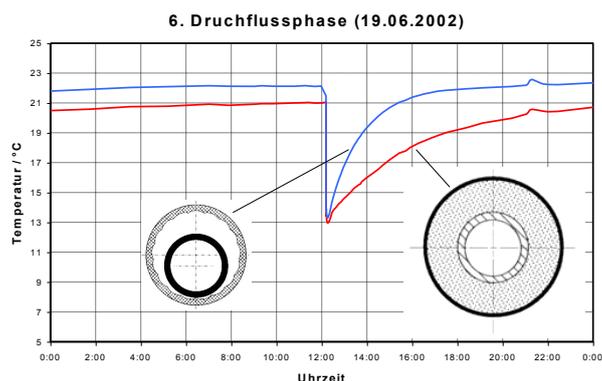


Bild 29 – Instationärer Temperaturverlauf nach einminütiger Durchflussphase

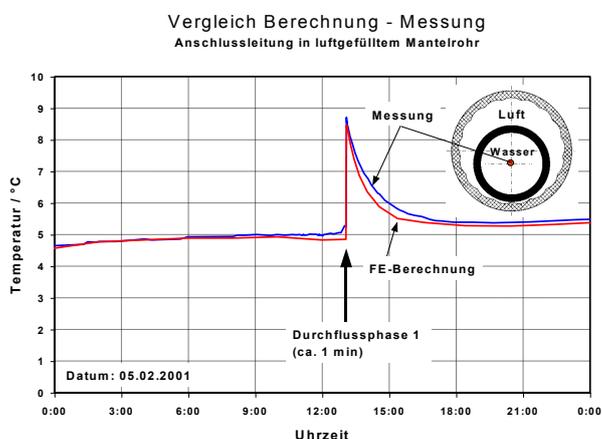


Bild 30 – Vergleich berechneter und gemessener Mediumstemperaturen

7.2 Pilotprojekt „Wärmeisolierte Rohre Aitern“

Lange Strecken und eine schwierige Topographie für das zu transportierende Trinkwasser erfordern von den Gemeinden erhebliche Investitionen. Erschwerend und vertuernd kommt der sehr hohe Anteil an Feriengästen in diesen Regionen hinzu, da auch für diese Spitzenzeiten die Versorgungssicherheit der Bevölkerung und der Gäste gewährleistet sein muss. Die Mehrzahl der Gemeinden und Zweckverbände haben nur noch Ausnahmegenehmigungen der Gesundheitsbehörden für ihre Wasservorkommen und haben unter diesem Druck in den letzten Jahren für ihre Versorgungsgebiete bereits Gesamtkonzepte zur Wasserversorgung erstellt. Die Umsetzung dieser Konzepte ist aber mit der klassischen Methode der frostfreien Verlegung in den meist felsigen Böden kaum zu finanzieren.

Aus diesem Grund wurde Anfang des Jahres 2001 vom Ministerium für Umwelt und Verkehr (UVM) gemeinsam mit der Gemeinde Aitern im Hochschwarzwald (nähe Feldberg) ein Pilotprojekt gestartet, in dem eine insgesamt 3 km lange Leitung bestehend aus Kunststoff- und Gussrohren teilweise in einem PU-Schaum wärmeisolierten Mantelrohr verlegt wurde, **Bild 31** und **Bild 32**.

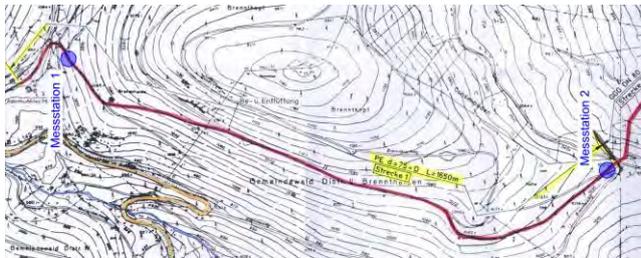


Bild 31 – Verlauf des wärmeisolierten Rohrleitungsabschnitts



Bild 32 – Wärmeisolierte Kunststoffrohre DN 75 mit 50 mm PU-Schaumisolierung und PE Schutzrohr



Bild 33 – Einrichtung der Messstation 1

Im Zuge des Einbaus der Trinkwasserleitung wurden zwei automatische Messstationen aufgebaut, durch die die auftretenden Temperaturen an den Rohren

und im Boden über den Zeitraum vom 07.11.2001 bis zum 15.04.2003 kontinuierlich erfasst und dokumentiert wurden, **Bild 33**.

Die so gewonnenen Daten, **Bild 34**, dienen u.a. der Überprüfung und Optimierung vorhandener Berechnungsmodelle, **Bild 35**.

Pilotprojekt Aitern
Winter 2001/02, Sommer 2002

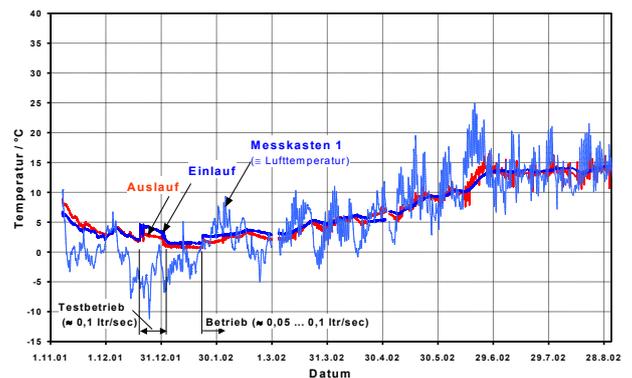


Bild 34 – Gemessene Mediums und Lufttemperaturen

Pilotprojekt Aitern
Testbetrieb Dezember 2001
Vergleich der gemessenen und berechneten Auslauftemperaturen

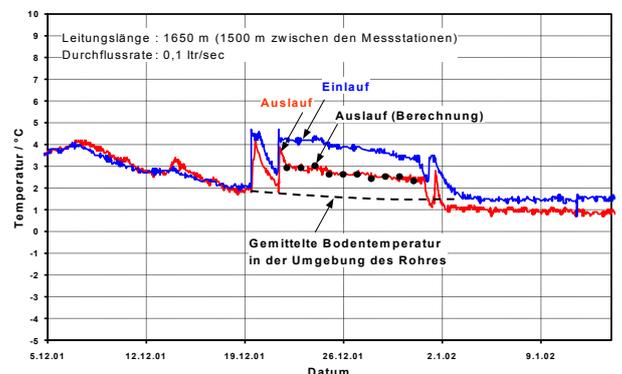


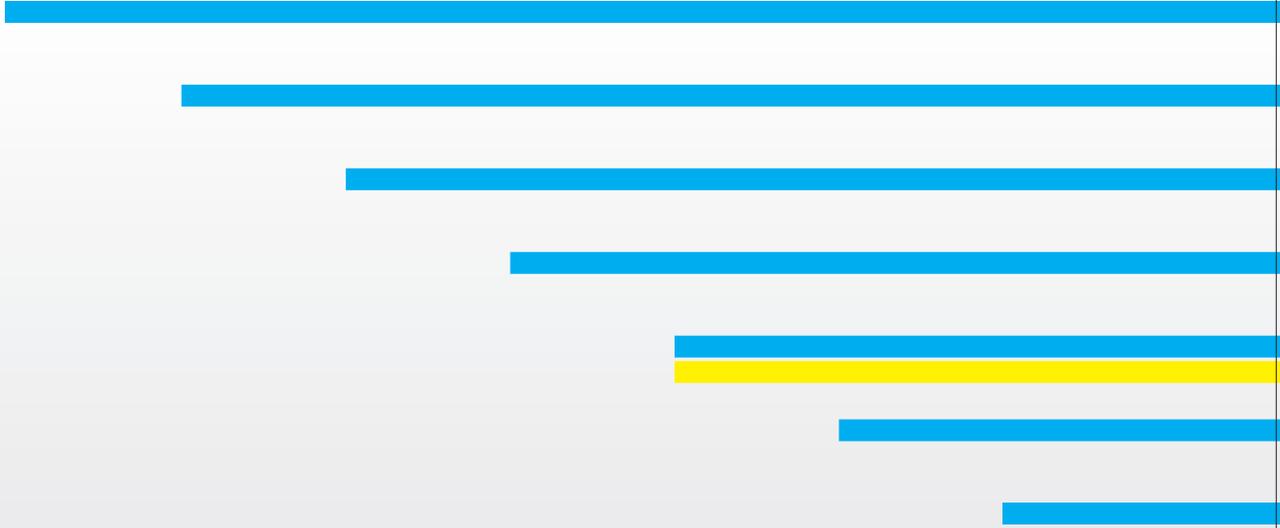
Bild 35 – Vergleich gemessener und berechneter Mediumstemperaturen während des Testbetriebs

Die Ergebnisse der Berechnungen und Messungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Für die Auslegungsberechnung wurden die Temperaturdaten der Wetterstation „Feldberg“ des Jahres 1996 verwendet. Die Berechnung wurde ohne Berücksichtigung einer eventuell vorhandenen Schneedecke durchgeführt, was zu auf der sicheren Seite liegenden Ergebnissen führte. Es wurde in einer Tiefe von 60 cm eine minimale Bodentemperatur von - 2,1 °C und in 80 cm Tiefe von 0 °C berechnet. Die Dicke der Wärmeisolierung für die Rohrleitung wurde mit 50 mm festgelegt.

- Die maximalen Frosteindringtiefen waren in den beiden Winterhalbjahren kleiner als 40 cm.
- Die Trinkwassertemperatur erreichte bei stagnierender Strömung in den Wintern 01/02 und 02/03 Tiefstwerte von ca. 1°C. Dies entsprach der tiefsten mittleren Temperatur des Bodens zwischen Ober- und Unterseite des Mantelrohres. Die höchsten Trinkwassertemperaturen wurden während der Sommermonate 2002 mit maximal 14,5°C gemessen.
- Die berechneten Trinkwassertemperaturen stimmen sehr gut mit den gemessenen Werten überein (s. Bild 35) und bestätigten die Eignung der verwendeten Berechnungsmodelle.
- In dem untersuchten Auswertzeitraum wurde der Versorgungsbetrieb der Ringleitung zur Versorgung der Orte Rollsbach und Aitern noch nicht aufgenommen, da die Baumaßnahmen zur Ringleitung und zu den Hausanschlüssen noch nicht abgeschlossen waren. Während dieser Phase wurden, um Verkeimungen in den fertiggestellten Leitungen zu vermeiden, Durchflussraten von lediglich 0,05 l/s bis 0,1 l/s realisiert, die deutlich unterhalb der vorgesehenen Durchflussraten von 0,25 l/s bis 1,0 l/s im späteren Versorgungsbetrieb liegen.
- Unter diesen Betriebszuständen betrug die tiefste Wassertemperatur am Einlaufbereich in die isolierte Rohrleitung ca. 3 °C und lag damit unterhalb des in der Auslegungsberechnung angesetzten Tiefstwertes von 4 °C. Die Temperatur von ca. 3 °C entspricht in etwa den zu erwartenden Bodentemperaturen in einer Tiefe von 1,2 bis 1,4 m. In dieser Tiefe wurde der vorausgehende 130 m lange, nicht wärmeisolierte Rohrleitungsabschnitt (Gussrohre) verlegt. Aufgrund der geringen Durchflussrate ist zu vermuten, dass sich die Wassertemperatur in diesem Leitungsabschnitt weitestgehend der Bodentemperatur angleicht. Unter diesen Bedingungen wäre in extremen Frostperioden das Abkühlen des Wassers auf 0 °C innerhalb des anschließenden wärmeisolierten Leitungsabschnitts nicht auszuschließen. Deshalb wurde empfohlen, die Versorgungsleitung erst bei Gewährleistung des Versorgungsdurchflusses in Betrieb zu nehmen oder für die Frostperiode vom 01. November bis 31. März eine Mindest-Durchflussrate zu gewährleisten.

Die Ergebnisse dieses Pilotprojektes wurden bei der Erstellung der vorliegenden Leitlinie berücksichtigt und lieferten wichtige Erkenntnisse für den frostsicheren Betrieb von wärmeisolierten Versorgungsleitungen.



Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR

EnBW