



Durchlass an der Strecke 1120, Bahn-km 007,203 (DB Netz AG, Fotodokumentation, 2022)

Kunde: Deutsche Bahn AG
Projekt: Hydrologisches Gutachten
Projektnummer: 118005434

Autor
Milad Tohidi
Mobil
+49174 743 31 64
E-Mail
milad.tohidi@afry.com

Datum
16.04.2024
Projekt-ID
118005434

Kunde
Deutsche Bahn AG

Hammerbrook Straße 44

20097 Hamburg

Hydrologisches Gutachten

Prüfung der Erneuerung des DLs auf der Strecke 1120, km 007,203

i.V. Martina Schulze
Qualitätssicherung

i.A. Milad Tohidi, M.Sc.
Gutachter

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	5
2	Arbeitsgrundlagen	5
3	Bestandsbeschreibung	7
4	Bestimmung der abflusswirksamen Niederschlagshöhe.....	9
4.1	Erläuterung des SCS-Verfahrens	9
4.1.1	Berechnungsansatz.....	9
4.1.2	Gebietsspezifische Eigenschaften	10
4.1.3	Wahl der Dauerstufe für den Anfangsverlust Ia	12
4.2	Bestimmung der gebietsspezifischen Eigenschaften	13
4.2.1	Einzugsgebietsbeschreibung.....	13
4.2.2	Bestimmung des CN-Werts	13
4.3	Ermittlung der Abflussganglinie.....	14
4.3.1	Bestimmung max. statistischer Scheitelabfluss	14
4.3.2	Berechnung des Effektivniederschlags	16
5	Dimensionierung und Leistungsnachweis für den Durchlassquerschnitt	17
6	Zusammenfassung	18
7	Literaturverzeichnis	19

Abbildungen

Abbildung 1: Durchlass an der Strecke 1120, Bahn-km 007,203 (DB Netz AG, Fotodokumentation, 2022)	0
Abbildung 2: Lageplan Situation Vorflut.....	7
Abbildung 3: Topografische Karte zur Bestimmung des Einzugsgebiets des DL der Bahnstrecke 1120 bei km 007,203 (Geodaten Schleswig-Holstein, 2022) ..	13
Abbildung 4: Statistische Scheitelabflüsse T20 der betrachteten Dauerstufen.....	15
Abbildung 5: Intensitätsverlauf des Niederschlags nach KOSTRA DWD 2020 für T20D360 .	15
Abbildung 6: Abflussganglinie für HQ 360	16

Tabellen

Tabelle 1: Bodenfeuchte (Maniak, 2016)	11
Tabelle 2: CN-Werte für die Bodenfeuchtekategorie II, in Abhängigkeit von der hydrologischen Bodengruppe und Landnutzung	11
Tabelle 3: Flächenanteil der Landnutzung im Einzugsgebiet.....	14
Tabelle 4: Eingangsdaten Hydrologie Wiederkehrintervall T_{20}	14
Tabelle 5: Übersicht der Kennwerte des SCS Verfahrens	16

Abkürzungsverzeichnis

a. a. R. d. T.	allgemein anerkannten Regeln der Technik
AG	Auftraggeber
Bf	Bahnhof
DB	Deutsche Bahn
DL	Durchlass
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
EGL	Einheitsganglinie
EZG	Einzugsgebiet
EU	Europäische Union
GOK	Geländeoberkante
SO	Schienenoberkante
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

1 Veranlassung

Die DB Netz AG plant für die Strecke 1120 bei km 007,203 die Erneuerung eines Eisenbahndurchlasses (DL). Der Durchlass quert die zweigleisige Strecke, um die Entwässerungsanlagen seitlich der Bahnstrecke hydraulisch miteinander zu verbinden.

Durch die DB Netz AG wurde das Planungsbüro AFRY Deutschland GmbH mit der Erstellung eines hydrologischen Gutachtens beauftragt.

Im Ergebnis ist das Einzugsgebiet abgegrenzt, die anfallende Abflussmenge bei einem 20-jährigen Regenereignis bestimmt und der hydraulische Nachweis für den Durchlass erstellt worden.

2 Arbeitsgrundlagen

Dem Bearbeiter der vorliegenden Unterlage standen folgende Arbeitsgrundlagen zur Verfügung:

- Ingenieurvermessung Lageplan im Maßstab 1:200 (DB Netze, 2023)
- Fotodokumentation des AG zum DL km 007,203 (DB Netz AG, Fotodokumentation, 2022)
- Geologische Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:250.000 (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2019)
- Topografische Karten aus Geodaten Schleswig-Holstein im Maßstab 1:5.000 (Geodaten Schleswig-Holstein, 2022)
- Luftbilder - © OpenStreetMap
- Niederschlagshöhen und -spenden für Rasterfeld Spalte 152 und Zeile 77 des Deutschen Wetterdienstes, Abt. Hydrometeorologie KOSTRA-DWD 2020, Version 4.1
- Bodenkarte Karte Deutschland 1:200.000 (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2017)
- DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 118 „Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen“, Hennef im März 2006
- DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 110 „Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -Kanälen“, Hennef im August 2006
- DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 531 „Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer“, September 2012; Stand: korrigierte Fassung Mai 2017
- DIN EN 19661-1: 1998-07 „Wasserbauwerke. Teil 1: Kreuzungsbauwerke. Durchleitungs- und Mündungsbauwerke“
- Maniak, U. (2016): Hydrologie und Wasserwirtschaft – Eine Einführung für Ingenieure“ 7. Auflage, Ulrich Maniak – Springer Verlag
- Steckbrief DL 1120_km 007,203 (DB Netze, 2022)
- Ortsbesichtigung_Strecke 1120_km 007,203 (DB Netz, 2022)
- Digitales Anlagenverzeichnis (DAV) Gewässerlinien im Maßstab 1:100 (DigitalerAtlasNord, 2023)

- Regionalisierte Abflussdaten 2017R (Schleswig-Holstein Umweltportal, 2019)
- Baugrund- und Gründungsgutachten (GTU Ingenieurgesellschaft, 2023)
- Fotodokumentation des AG zum DL km 007,203 (DB Netz AG Fotodokumentation, 2024)
- Tiefenentwässerung (Lagenplan Situation Vorflut, 1968)
- Bestandlageplan (DB Netz AG, 2023)
- Digitale Geländemodelle (DGM) (DB Netz AG, 2023)
- Lage – Höhenplan (DB Netz AG, 2023)
- Profil (Db Netz AG, 2023)
- Punktdati (Db Netz AG, 2023)
- Besprechungsprotokoll vom 04.04.2024 _ DL 1120 km 007,203 (DB Netz AG, 2024)

3 Bestandsbeschreibung

Wasserwirtschaftliche Situation

Der DL quert die Bahnstrecke 1120 am Bahn-km 007,203.

Das Material des Bestands-DL ist Steinzeug (DB Netze, 2022). Die Maße des vorhandenen DL wurden dem Steckbrief DL 1120_km 007,203 (DB Netze, 2022) entnommen. Die Länge beträgt demnach 19,80 m und die minimale Überschüttungshöhe 4,00 m. Der Ablauf hat sowohl eine lichte Weite als auch eine lichte Höhe von 0,40 m.

Laut den Ergebnissen der Ortsbesichtigung des ALVs KIB (am 03.04.2024) befindet sich das Einzugsgebiet (EZG) südlich des Bahndamms (bahnlinks), welches über die DL in dem nördlichen Gebiet (bahnrechts) entwässert wird.

Zusätzlich wurde am 11.04.2024 von der DB Netz ein Plan aus dem Jahr 1968 für den Bereich des DL (Abbildung 2) vorgelegt, der eine Tiefenentwässerung beidseitig der Bahnstrecke enthält. Gemäß den Angaben der DB Netz (E-Mail vom 12.04.2024) bestehen jedoch starke Zweifel, ob der vorliegende Plan noch den örtlichen Gegebenheiten entspricht und ob die Funktionalität der Leitungen weiterhin gewährleistet ist. Demnach kann dieser Plan nicht als zuverlässige Bestandsinformation genutzt werden.

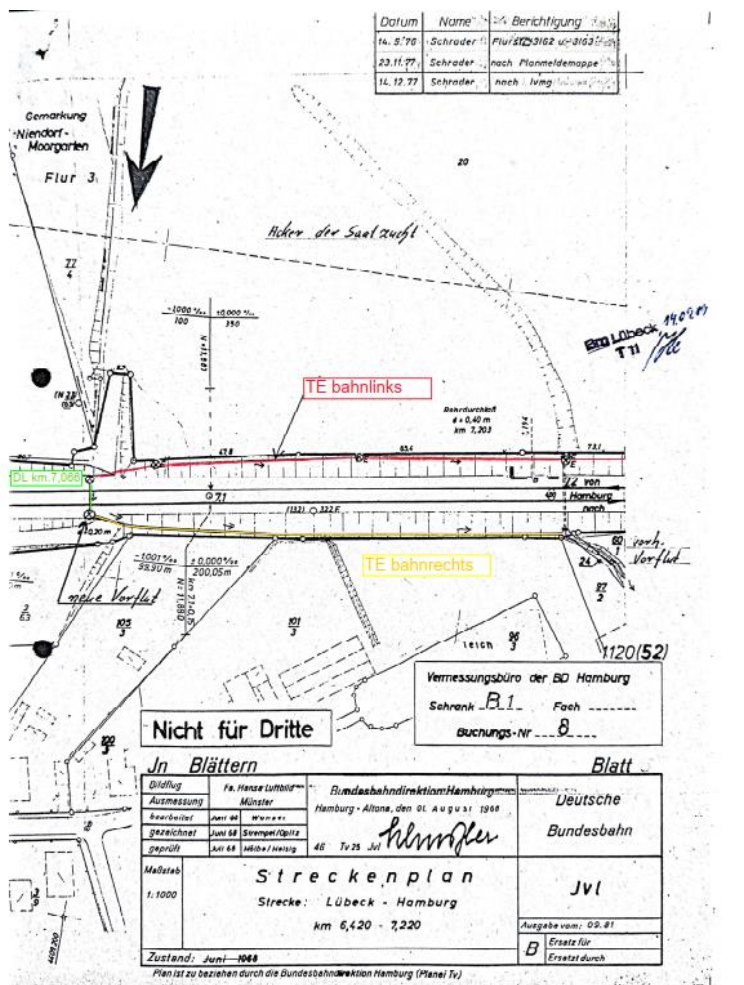


Abbildung 2: Lageplan Situation Vorflut

Die Einzugsgebietsabgrenzung erfolgte anhand der Topografischen Karte des zu untersuchenden Gebiets. Das EZG hat eine Größe von 0,059 km² und das Gefälle der Geländeoberfläche beträgt in diesem Einzugsgebiet, bezogen auf die Fließweglänge von ca. 0,33 km, ungefähr 1,8 %.

Die o.g. Tiefenentwässerung wird bei der nachfolgenden hydraulischen Nachweisführung nicht berücksichtigt.

Geologische Situation

Das Untersuchungsgebiet befindet sich entsprechend der Bodenkarte von Deutschland im Bereich der Pseudogley aus sandigen Flussablagerungen sowie Gley der sandigen Urstromtäler und Niederungen sandiges Sediment über einer relativ undurchlässigen Schicht aus Ton oder Mergel (Mergel = Sediment aus Ton und Kalk). (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2017).

4 Bestimmung der abflusswirksamen Niederschlags- höhe

4.1 Erläuterung des SCS-Verfahrens

Für die Bestimmung des Gebietsabflusses wird die SCS-Methode herangezogen. Das SCS-Verfahren wurde vom *Soil Conservation Service (SCS)* auf Grundlage empirischer HW-Analysen für kleine Einzugsgebiete ($A_{E0} < 8 \text{ km}^2$) ursprünglich für die USA entwickelt. Heutzutage kommt es weltweit zum Einsatz.

Beim SCS-Verfahren wird für ein abgegrenztes oberirdisches Einzugsgebiet ein CN-Wert aus den gebietsspezifischen Eigenschaften ermittelt. Der CN-Wert ist eine Funktion der hydrologischen Bodengruppe, Bodenfeuchte und Landnutzung. Es erfolgt keine direkte Analyse von N-A-Ergebnissen. Bei diesem Verfahren wird ein konstanter Abflussbeiwert bestimmt, der für das Gesamtereignis gültig ist. Über das Einheitsganglinienverfahren nach dem SCS-Verfahren finden weitere gebietsspezifische Eigenschaften (Länge des Vorfluters, mittleres Gebietsgefälle und Einzugsgebietsgröße) Berücksichtigung.

Der Parameter *CN* steht für U.S. Soil Conservation *curve number*. Zur Bestimmung werden tabellierte Klassen für die hydrologische Bodengruppe, Landnutzung und Bodenfeuchte verwendet.

Die Struktur der Berechnungen kann wie folgt beschrieben werden:

1. Bestimmung der gebietsspezifischen Eigenschaften
inkl. Bestimmung des CN-Werts
2. Ermittlung einer Übertragungsfunktion nach der SCS-Methode
3. Ermittlung des maximalen Scheitelabflusses
→ höchster Lastfall = Bemessungsniederschlag
→ Aufteilung des Bemessungsniederschlags auf einzelne Intervalle
4. Berechnung des Effektivniederschlags N_{eff}
5. Bestimmung der Abflussganglinie bzw. des Maximalabflusses

4.1.1 Berechnungsansatz

Beim SCS-Verfahren gilt folgende Grundannahme bezüglich des Abflussbeiwerts Ψ :

$$\Psi = \frac{N_{eff}}{N - I_a} = \frac{F}{S} \quad (1)$$

mit: $F = N - I_a - N_{eff} \quad (2)$

$$I_a = a \cdot S \quad (3)$$

N_{eff} – Effektivniederschlag des Ereignisses [mm]

N – Niederschlagshöhe des Ereignisses [mm]

I_a – Anfangsverlust [%]

F – aktuell möglicher Gebietsrückhalt [m^3]

S – maximal möglicher Gebietsrückhalt [mm]

a – Anteil von S , der als Anfangsverlust verloren geht [-]

$a = 0,2 \rightarrow$ Original SCS-Verfahren

$a = 0,05 \rightarrow$ Untersuchungen in Deutschland für $N < 50 \text{ mm}^1$
 Aus den Gleichungen (1), (2) und (3) kann folgende Grundgleichung abgeleitet werden:

$$N_{eff} = \frac{(N - a \cdot S)^2}{N + (1-a) \cdot S} = \frac{(N - I_a)^2}{(N - I_a) + S} \quad (4)$$

Der Wert S gibt den Zusammenhang zwischen max. Rückhalt und Gebietseigenschaften an:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \text{Faktor 25,4 für die Umrechnung Zoll in Millimeter:}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (5)$$

mit: CN – Curve Number [-]

Für den Parameter CN gilt folgendes:

- Wertebereich $0 < CN \leq 100$
- Je größer CN, desto kleiner S
- Wenn CN = 100, dann folgt $S = 0$ und $N_{eff} = N$

Die Formel zur Berechnung des Effektivniederschlags, welcher in einem Einzugsgebiet (EZG) unmittelbar nach einem Niederschlagsereignis als Direktabfluss in einem Fließgewässer wirksam wird, ergibt sich aus den Gleichungen (4) und (5):

$$N_{eff} = \frac{[(N/25,4) - (I_a \cdot 10/CN) + (I_a/10)]^2}{[(N/25,4) + (1000 - I_a \cdot 10)/CN] - [10 - (I_a/10)]} \cdot 25,4 \text{ mm}$$

4.1.2 Gebietsspezifische Eigenschaften

Hydrologische Bodengruppen

Nach dem SCS-Verfahren gibt es vier verschiedene hydrologische Bodengruppen, die sich hinsichtlich ihres Versickerungsvermögens und ihres Abflussverhaltens unterscheiden.

Bodengruppe A: Böden, die auch nach starker Vorbefeuchtung ein **großes Versickerungsvermögen** besitzen, z.B. tiefe Sande und Kiese

Bodengruppe B: Böden mit **mittlerem Versickerungsvermögen**. Dies sind tiefe bis mäßig tiefe Böden mit mäßig feiner bis mäßig grober Textur, z.B. mitteltiefe Sandböden, Löss und (schwach) lehmiger Sand

Bodengruppe C: Böden mit **geringem Versickerungsvermögen**. Dies sind Böden mit feiner bis mäßig feiner Textur oder mit einer wasserstauenden Schicht, z.B. flache Sandböden und sandiger Lehm

Bodengruppe D: Böden, die ein sehr **geringes Versickerungsvermögen** besitzen. Dies sind Tonböden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Böden mit einem dauerhaft sehr hohen Grundwasserspiegel

¹ (Maniak, 2016)

Bodenfeuchte

In drei Bodenfeuchteklassen wird der Einfluss von Vorregen und Jahreszeiten berücksichtigt. Aufgrund der schlechten Durchlässigkeit des Pseudogleys und der sandigen Eigenschaften wird die Bodenfeuchteklasse II angenommen.

Tabelle 1: Bodenfeuchte (Maniak, 2016)

Bodenfeuchteklasse	Niederschlagssumme der vergangenen 5 Tage [mm]	
	Vegetationsperiode	Übrige Zeit
I	< 30	< 15
II	30 – 50	15 – 30
III	> 50	> 30

Landnutzung

In Abhängigkeit zur identifizierten Landnutzung und der hydrologischen Bodengruppe können in Tabelle 2 die aus mehreren Quellen zusammengetragenen CN-Werte abgelesen werden (Seibert, Auerswald, 2020), (Maniak, 2016). Um Werte für die Bodenfeuchteklassen I und II zu erhalten, werden empirische Umrechnungen verwendet (Maniak, 2016):

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,334 - 0,01334 \cdot CN_{II}} \quad CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,4036 + 0,0059 \cdot CN_{II}}$$

Tabelle 2: CN-Werte für die Bodenfeuchteklasse II, in Abhängigkeit von der hydrologischen Bodengruppe und Landnutzung

Landnutzung	Abflussneigung	Hydrologische Bodengruppe CN-Werte			
		A	B	C	D
Ödland, unbewachsener Boden ²		77	86	91	94
Reihenkulturen ³	Hoch ⁴	72	81	88	91
	Niedrig	67	78	85	89
Wein (Terrassen)		64	73	79	82
Getreideanbau ⁵	Hoch ⁶	65	76	84	88
	Mittel ⁷	62	74	82	85
	Niedrig ⁸	60	71	79	82
Futterpflanzen ⁹ (Maniak, 2016)		62	75	83	82
Futterpflanzen (Seibert, Auerswald, 2020)	Hoch ¹⁰	25	47	64	72
	Niedrig ¹¹	24	43	61	70
Weide, karg	Hoch	68	79	86	89
Weide, fett	Niedrig	39	61	74	80
Dauerwiese ¹²		30	58	71	78
Haine, Obstanlagen (mittel)		36	60	73	79
Wald, stark aufgelockert ¹³	Hoch	45	66	77	83
Wald, traditionelle Forstwege	Mittel	36	60	73	79
Wald, dicht ¹⁴	Niedrig	25	55	70	77
Dörfliche Siedlung, Wirtschaftshöfe		59	74	82	86
Städtische Siedlung		61	75	83	86
Sport-/Golfplätze		39	61	74	80

² Gepflügte Flächen oder Saatbett, bevor mind. 10 % Bedeckung erreicht sind

³ Hackfrüchte: Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln, Sonnenblumen und Ackerbohnen; Hopfen und Spargel werden in ihrer hydrologischen Wirkung wie Reihenfrüchte behandelt

⁴ Weiter Reihenabstand (Spargel 1,2 m, konventioneller Mais), spätes Wachstum, Bodenverdichtung (schwere Erntemaschinen, z.B. Silomais, Zuckerrüben, Kartoffeln), Etablierungsphase (<50% Bodenbedeckung)

⁵ Weizen, Gerste, Hafer, Roggen, Dinkel, Triticale, aber auch Raps und Buchweizen

⁶ bei Getreide besonders in Jahren nach Reihenkulturen mit hohen Erntegewichten (besonders Silomais, Zuckerrüben, Kartoffeln), Etablierungsphase (<50% Bodenbedeckung)

⁷ zweites Getreidejahr

⁸ in Jahren nach mehrjährigem Ackerfutter (z. B. Klee gras, besonders organischer Landbau)

⁹ Klee gras/ Luzerne

¹⁰ im Etablierungsjahr; Erfolgt die Etablierung mit Untersaat statt mit Saatbettbereitung → Zwischenwerte

¹¹ im Folgejahr

¹² Grünland, Trockenrasen

¹³ Kleingehölze, Gebüsche; mit serpentinartig ausgebauten, Lkw-befahrbaren Forststraßen

¹⁴ Urwaldähnliche, gestuft aufgebaute Wälder mit geringer (Forst-)Straßendichte

Landnutzung	Abflussneigung	Hydrologische Bodengruppe CN-Werte			
		A	B	C	D
Industrie/Gewerbegebiete/Straßen		89	92	94	95
Wege/ Feldwege, befestigt		74	84	90	92
Wege, wassergebunden		72	82	87	89
Abbauland ¹⁵		77	86	91	94
Undurchlässige Flächen		100	100	100	100
Offene Wasserflächen		100	100	100	100

4.1.3 Wahl der Dauerstufe für den Anfangsverlust I_a

Um einen plausiblen Anfangsverlust annehmen zu können, müssen der **Niederschlag** und der **CN-Wert** betrachtet werden. Klassischerweise orientiert sich eine Bemessung an den ungünstigsten Bedingungen. In der Regel wird daher ein Wiederkehrintervall (Lastfall) zwischen T_{100} (seltenes Ereignis) und T_5 (häufiges Ereignis) gewählt und iterativ mittels SCS-Verfahren die Dauerstufe D mit dem statistisch höchsten Scheitelabfluss bestimmt. Nach der Ril 836.4601 der DB AG ist für die Dimensionierung der Entwässerungseinrichtungen von Gleisanlagen für Tiefenentwässerungen/ verrohrte Bahngräben ein Wiederkehrintervall von T_{10} anzusetzen und in Tiefpunkten mit T_{20} aus dem KOSTRA DWD 2020 Atlas zu rechnen.

Während mit zunehmender Dauer des **Niederschlags** die Niederschlagsmengen zunehmen, nehmen statistisch die Niederschlagsintensitäten ab. Um die höchste Abflussrate zu erhalten, wird daher eine möglichst kurze Dauerstufe gewählt. Diese richtet sich nach der Konzentrationszeit t_c des EZG. Dauert der Niederschlag beispielsweise länger als die Konzentrationszeit an, wird der Wellenscheitel durch die geringere mittlere Intensität gemindert (Seibert, Auerswald, 2020). Aufgrund der Anfangsverluste ist als Bemessungsregen stets die nächsthöhere Dauerstufe ausgehend von t_c zu wählen.

Im KOSTRA DWD 2020 Atlas wurden Niederschlagshöhen der Jahresreihe 1951 - 2020 sämtlicher Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) statistisch verarbeitet. Vom DWD werden für definierte Raster sowohl diese Niederschlagshöhen als auch Niederschlags-spenden je Wiederkehrintervall T zur Verfügung gestellt. Zusätzlich kann nach DWD-Vorgabe ein Modellregen für ein Wiederkehrintervall T von 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50 und 100 Jahren mit den Dauerstufen zwischen 5 Minuten und 12 Stunden (D_5 , D_{10} , D_{15} , D_{20} , D_{25} , D_{30} , D_{60} , D_{90} , D_{120} , D_{180} , D_{240} , D_{300} , D_{360} , D_{420} , D_{480} , D_{540} , D_{600} , D_{660} und D_{720}) generiert werden. Hierfür stehen die Modelregentypen „Euler Typ 1“ und „Euler Typ 2“ zur Verfügung. Die Niederschlagssituation wird entsprechend DWA-A 531 mit der Berechnungsmethode „Euler Typ 2“ untersucht (DWA-A 531, 2012).

Die Konzentrationszeit t_c kann mit verschiedenen empirischen Formeln berechnet werden. Eine der Gleichungen ist die *SCS-Lag-Formel* (Maniak, 2016). Hierbei wird zunächst die Verzögerungszeit t_L berechnet:

$$t_L = 0,342 \cdot L^{0,8} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7} \cdot J^{-0,5} \quad (6)$$

mit:

J – Gefälle [%]
 L – Länge Vorflut [km]

Die Konzentrationszeit berechnet sich entsprechend der *SCS-Lag-Formel*:

$$t_c = 1,67 \cdot t_L \quad (7) \quad \text{für } \underline{\text{bebaute Gebiete}}$$

Nach *Kirpich* wird folgende Gleichung angewendet:

$$t_c = 2,0 \cdot t_L \quad (8) \quad \text{für } \underline{\text{natürliche Gebiete}}$$

Aufgrund der umgekehrt proportionalen Beziehung zwischen S und CN , kann mit $I_a = 0,2 \cdot S$ für **CN-Werte** < 45 und Niederschlägen < 100 mm praktisch kein Abfluss entstehen (Maniak,

¹⁵ Sand-, Kies- Steinabbau, Bauplätze

2016). Damit bei dem an Deutschland angepassten Anteil von $a = 0,05$ ein Abfluss entsteht, werden für CN-Werte < 45 Niederschläge von > 50 mm benötigt. Es wird im Folgenden ein Anfangsverlust von 10 % angenommen.

4.2 Bestimmung der gebietsspezifischen Eigenschaften

4.2.1 Einzugsgebietsbeschreibung

Das EZG wurde grafisch anhand der Höhenlinien ermittelt. Des Weiteren wird es durch die vorhandene Straße begrenzt, da hier von einem Tiefpunkt auszugehen ist. Entsprechend wurde das EZG mit $0,059 \text{ km}^2$ bestimmt (Abbildung 3).

Der Fließweg (Länge der Vorflut) beträgt ca. 330 m. Das mittlere Gebietsgefälle wird somit mit 1,8 % angenommen.

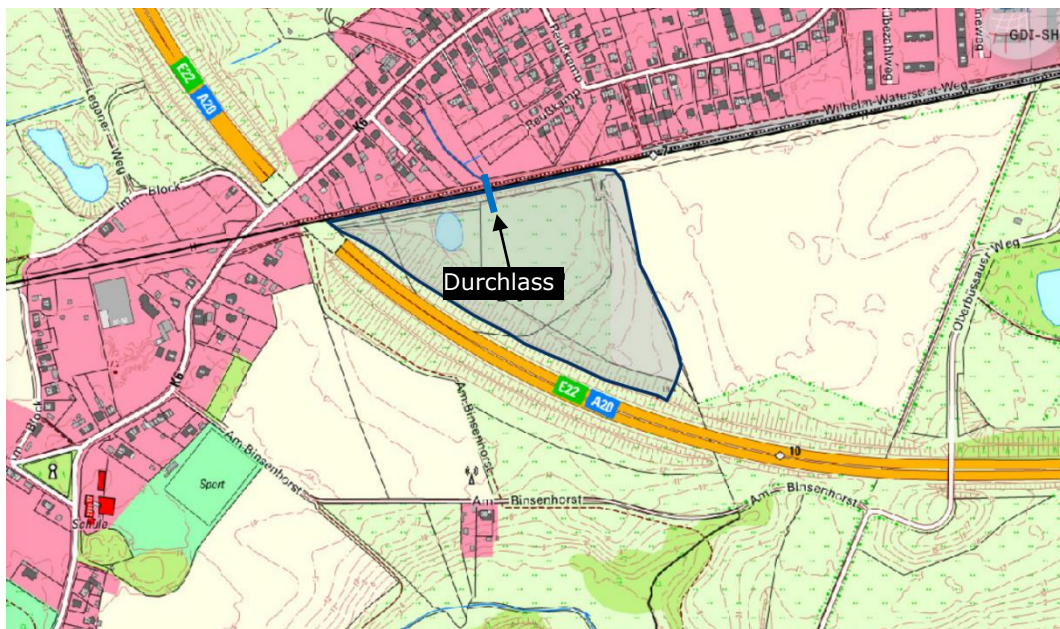


Abbildung 3: Topografische Karte zur Bestimmung des Einzugsgebiets des DL der Bahnstrecke 1120 bei km 007,203 (Geodaten Schleswig-Holstein, 2022)

4.2.2 Bestimmung des CN-Werts

Hydrologische Bodengruppen

Entsprechend der Böden Übersichtskarte von Deutschland (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2017) besteht der Pseudogley aus sandigen Sedimenten und relativ undurchlässigen Schichten und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass der Boden aufgrund der schlechten Drainage, des hohen Grundwasserspiegels und der geringen Durchlüftung des Bodens einen geringen Feuchtigkeitsgehalt aufweist, im Gebiet.

Daraus ergibt sich die Bodengruppe B.

Landnutzung

Über die Bodengruppe und Landnutzung wird der CN-Wert abgeleitet. Die Flächenanteile der Landnutzung wurden entsprechend Tabelle 3 zugewiesen und ein CN-Wert von 65,074 bestimmt.

Tabelle 3: Flächenanteil der Landnutzung im Einzugsgebiet

Landnutzung	Flächenanteil	Hydrologische Bodengruppe	
		B [%]	CN-Anteil
Getreideanbau	18,3	76	13,908
Wald stark	44,65	66	29,465
Wald/ dicht	33,55	55	18,453
Wege/ Feldwege, befestigt	1,6	84	1,344
Offene Wasserflächen	1,9	100	1,9
Summe			65,074

4.3 Ermittlung der Abflussganglinie

Die Ermittlung des Bemessungsabflusses erfolgt nach dem Einheitganglinienverfahren. Die Einheitganglinie (EGL) ist eine Abflussganglinie eines bestimmten EZG. Der zu betrachtende DL befindet sich im KOSTRA DWD 2020 Atlas im Rasterfeld Spalte 152 und Zeile 77. Nach den Vorgaben des AG entsprechend der RiL 836.4601 wird ein Wiederkehrintervall T von 20 Jahren angesetzt.

4.3.1 Bestimmung max. statistischer Scheitelabfluss

Das Vorgehen zur Bestimmung des max. statistischen Scheitelabflusses erfolgt iterativ über den Effektivniederschlag. Hierbei werden die unterschiedlichen Dauerstufen der Starkniederschlagshöhen untersucht. In den nachfolgenden Diagrammen Abbildung 4 sind die berechneten Statistischen Scheitelabflüsse der jeweiligen Dauerstufen des Wiederkehrintervalls T_{20} dargestellt (KOSTRA DWD 2020 Atlas, 2020). Untersucht wurden die Dauerstufen D_{30} , D_{45} , D_{60} , D_{90} und zwischen D_{120} und D_{720} . In Tabelle 4 sind die Eingangsdaten aufgelistet.

Tabelle 4: Eingangsdaten Hydrologie Wiederkehrintervall T_{20}

Eingangsdaten		Quelle
Jährlichkeit n [1/a]	0,05	RiL 836.4601
Wiederkehrintervall T [a]	T_{20}	
Dauerstufe D (Statistischer Scheitelabfluss)	360 min	ermittelt nach Abbildung 4
Statistischer Tageshöchstwert	65,9 mm	KOSTRA DWD 2020 Atlas
Maximale Niederschlagshöhe N (Statistischer Scheitelabfluss)	45,8 mm	

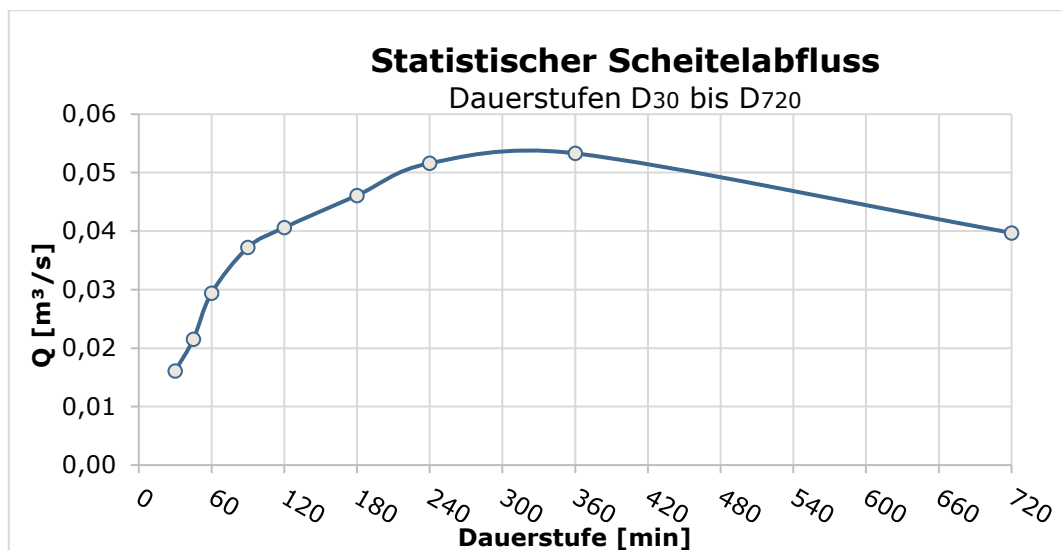


Abbildung 4: Statistische Scheitelabflüsse T20 der betrachteten Dauerstufen

Hierfür wird der Gesamtniederschlag der jeweiligen Dauerstufe in einzelne Intervalle aufgeteilt. Bei T₂₀D₃₆₀ sieht der Intensitätsverlauf wie folgt aus (Abbildung 5):

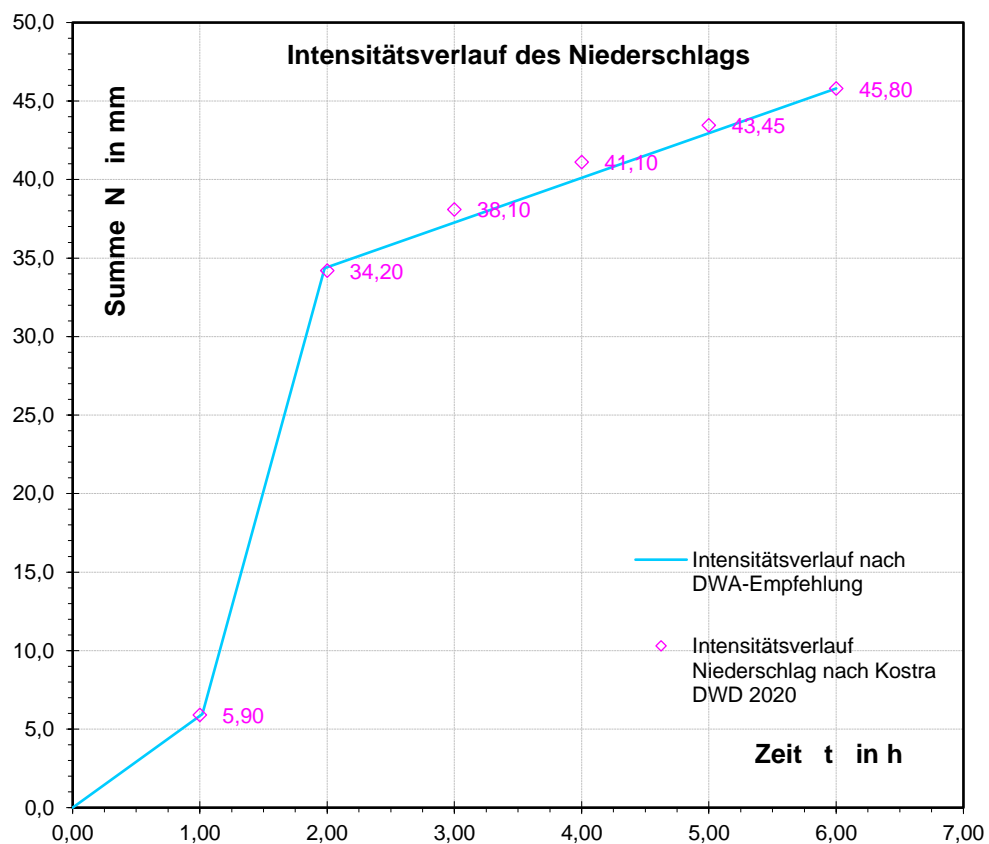


Abbildung 5: Intensitätsverlauf des Niederschlags nach KOSTRA DWD 2020 für T20D360

4.3.2 Berechnung des Effektivniederschlags

Für die Ermittlung der Abflussgrößen wird zunächst der effektive Niederschlag nach dem SCS-Verfahren ermittelt:

$$N_{eff} = \frac{[(N/25,4) - (I_a \cdot 10/CN) + (I_a/10)]^2}{[(N/25,4) + (1000 - I_a \cdot 10)/CN] - [10 - (I_a/10)]} \cdot 25,4 \text{ mm}$$

Tabelle 5: Übersicht der Kennwerte des SCS Verfahrens

CN Wert	65,074 (-) mittlerer CN Wert
Gesamtniederschlag T ₂₀	45,8 mm
Anfangsverlust	10 %
Effektivniederschlag ND T ₂₀	6,14 mm

Die Ermittlung des Bemessungsabflusses erfolgt nach dem Einheitsganglinienverfahren (gebietsspezifische Einheitsganglinie).

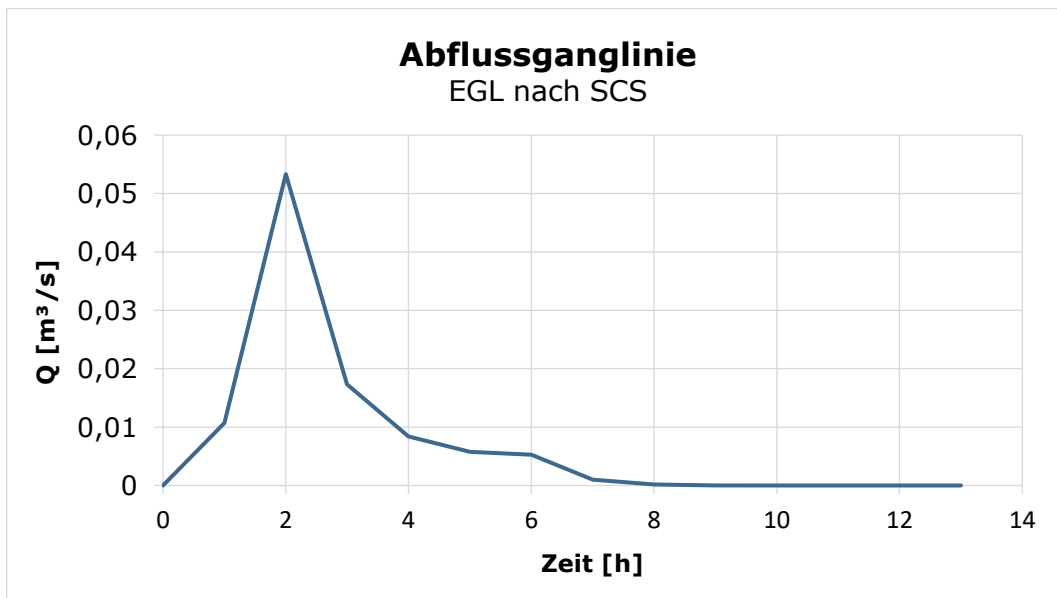


Abbildung 6: Abflussganglinie für HQ 360

Es ergibt sich für das Einzugsgebiet ein Hochwasserscheitelabfluss (HQ20) von 53,3 l/s.

Nach DWA-A 118 Pkt. 6.2.1 wird eine hydraulische Reserve von 10 % gefordert. Somit ist für die Dimensionierung des Bahndurchlasses für ein 20-jähriges Niederschlagsereignis ein Bemessungsabfluss von **58,7 l/s** bzw. **0,0587 m³/s** anzusetzen.

5 Dimensionierung und Leistungsnachweis für den Durchlassquerschnitt

Die Berechnung der Abflussganglinie hat ergeben, dass bei einem Niederschlagsereignis eines 20-jährigen Wiederkehrintervalls mindestens 58,7 l/s anfallen, und der statistische Scheitelabfluss wird nach 6 Stunden erreicht. Der KOSTRA DWD 2020 Atlas generiert Modellregen bis einschließlich 7 Tage.

Die benötigte Nennweite eines Rohrdurchlasses (90% Vollfüllung) wird über die nachfolgende Gleichung iterativ ermittelt.

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \left(-2 \lg \left[\frac{2,51 \cdot \nu}{D \cdot \sqrt{2 g \cdot D \cdot I_E}} + \frac{k_b}{3,71 \cdot D} \right] \cdot \sqrt{2 g \cdot D \cdot I_E} \right)$$

dabei ist:

ν = $1,31 \cdot 10^{-6}$ [m²/s] – kinematische Zähigkeit für 10 °C

d = Durchmesser [m]

I_E = Energieliniengefälle = Sohlgefälle bei stationär gleichförmigem Abfluss = 5 ‰

k_b = betriebliche Rauigkeit [mm] = 0,75

g = Erdbeschleunigung [m/s²]

Laut hydraulischer Berechnung ergibt sich für eine Durchlasserneuerung in Form eines Rohrdurchlasses ein Mindestinnendurchmesser von 283,2 mm um bei einem Gefälle von 5 ‰ einen Durchfluss von ca. 58,7 l/s zu erreichen. Dies berücksichtigt die geforderten hydraulischen Reserven von 10 % (s. DWA-A 118 Pkt.6.2.1).

Die unter Kap. 3 beschriebene Tiefenentwässerung wurde bei der hydraulischen Nachweissführung nicht berücksichtigt. Es ist jedoch zu beachten, dass gemäß dem Plan zur Tiefenentwässerung die entsprechende Leitung bahnlinks in den Durchlass entwässert. Dies würde bei angenommener Funktionalität der TE ein zusätzliches Abflussvolumen für den DL darstellen. Die Leitung der Tiefenentwässerung bahnrechts entwässert in den Graben im Auslaufbereich des DL. Die angegebene Dimensionierung des Durchlasses ist daher als Mindestmaß zu verstehen.

6 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die vorhandene DL an der Bahnstrecke 1120 bei km 007,203 entsprechend dem anfallenden Bemessungsabfluss von $> 58,7$ l/s mit einem Mindest-DN von 283,2 mm zu erneuern ist. Die DL kann beispielsweise mit einem neuen Stahlbetonrohr bis zu einer Größe von DN 283,2 mm und einem Gefälle von 5 ‰ erneuert werden.

Es ist nochmal darauf hingewiesen, dass die Dimensionierung des Durchlasses auf der hydraulischen Berechnung des Niederschlags im EZG basiert. Die Tiefenentwässerung mit ihren möglichen Abflüssen wurde nicht berücksichtigt.

Die Umsetzung der Parameter ist anhand der örtlich gegebenen Randbedingungen aus bautechnischer Sicht zu prüfen.

7 Literaturverzeichnis

- (2023). Von DigitalerAtlasNord: https://danord.gdi-sh.de/viewer/resources/apps/Wasserland_DAV/index.html?lang=de#/ abgerufen
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). (2017). Von BGR Geoviewer: <https://geoviewer.bgr.de/mapapps4/resources/apps/geoviewer/index.html?lang=de> abgerufen
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). (2019). Von Geoviewer.bgr.de: <https://geoviewer.bgr.de/mapapps4/resources/apps/geoviewer/index.html?lang=de> abgerufen
- DB Netz. (2022). *Ortbesichtigung Strecke1120, km013,079.*
- DB Netz AG, Fotodokumentation. (2022). *1120_Rohr_DL_007,203.*
- DB Netze. (2022). *Steckbrief.*
- DB Netze. (2023). *Lage-Höhenplan.*
- DWA-A 110. (2006). *Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen.*
- DWA-A 118. (2006). *Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen.*
- DWA-A 531. (2012). *Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer.*
- Geodaten Schleswig-Holstein. (01. 04 2022). Von https://geodaten.schleswig-holstein.de/gaialight-sh/_apps/dldownload/dl-dtk5.html abgerufen
- Hydrologischer Information - Schleswig-Holstein Umweltportal. (15. 10 2019). Von <https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/pegel/jsp/regq.jsp?gebnr=688> abgerufen
- KOSTRA DWD 2020 Atlas. (2020).
- Lutz. (1984). Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Verwendung von Gebietskenngrößen, Heft 24. *Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe.*
- Maniak, U. (2016). *Hydrologie und Wasserwirtschaft, 7. Auflage.* Springer Verlag.
- Netz, D. (2022). *BAst-Bestandsnetzmaßnahme Verdämmung Durchlass 2931 km 204,750.*
- Schleswig-Holstein Umweltportal. (15. 10 2019). Von <https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/pegel/jsp/regq.jsp?gebnr=688> abgerufen
- Schneider, K.-J. (2004). *Schneider - Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen.* Düsseldorf: Werner-Verlag.
- Seibert, Auerswald. (2020). *Hochwasserminderung im ländlichen Raum.*

Anhang 1

KOSTRA Niederschlagshöhen und Modellregen



Niederschlagshöhen nach KOSTRA-DWD 2020

Rasterfeld : Spalte 152, Zeile 77
 Ortsname : 23560 Lübeck
 Bemerkung :

Dauerstufe D	Niederschlagshöhen hN [mm] je Wiederkehrintervall T [a]								
	1 a	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5 min	6,2	7,6	8,4	9,6	11,2	12,9	14,1	15,5	17,6
10 min	7,9	9,7	10,8	12,3	14,4	16,6	18,1	19,9	22,6
15 min	9,0	11,1	12,4	14,0	16,4	18,9	20,6	22,7	25,8
20 min	9,8	12,1	13,5	15,3	18,0	20,7	22,5	24,8	28,1
30 min	11,1	13,6	15,2	17,3	20,2	23,3	25,3	27,9	31,7
45 min	12,4	15,3	17,0	19,4	22,7	26,1	28,4	31,3	35,6
60 min	13,5	16,5	18,5	21,0	24,6	28,3	30,7	33,9	38,5
90 min	15,0	18,5	20,6	23,4	27,4	31,6	34,3	37,9	43,0
2 h	16,3	20,0	22,3	25,3	29,7	34,2	37,1	41,0	46,5
3 h	18,1	22,3	24,8	28,2	33,1	38,1	41,3	45,6	51,8
4 h	19,6	24,0	26,8	30,4	35,7	41,1	44,6	49,3	55,9
6 h	21,8	26,8	29,8	33,9	39,7	45,8	49,7	54,9	62,3
9 h	24,2	29,8	33,2	37,7	44,2	50,9	55,3	61,1	69,3
12 h	26,1	32,1	35,8	40,7	47,7	54,9	59,7	65,9	74,8
18 h	29,1	35,7	39,9	45,3	53,1	61,1	66,4	73,3	83,2
24 h	31,4	38,6	43,0	48,8	57,2	65,9	71,6	79,0	89,7
48 h	37,6	46,2	51,6	58,6	68,7	79,1	85,9	94,8	107,6
72 h	41,9	51,4	57,4	65,2	76,4	88,0	95,5	105,5	119,7
4 d	45,1	55,5	61,9	70,3	82,4	94,8	103,0	113,7	129,1
5 d	47,9	58,8	65,6	74,5	87,3	100,6	109,2	120,6	136,8
6 d	50,2	61,7	68,8	78,1	91,6	105,5	114,6	126,5	143,5
7 d	52,3	64,2	71,6	81,4	95,4	109,8	119,3	131,7	149,5

Legende

- T Wiederkehrintervall, Jährlichkeit in [a]: mittlere Zeitspanne, in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet
 D Dauerstufe in [min, h, d]: definierte Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen
 hN Niederschlagshöhe in [mm]



Niederschlagsspenden nach KOSTRA-DWD 2020

Rasterfeld : Spalte 152, Zeile 77
 Ortsname : 23560 Lübeck
 Bemerkung :

Dauerstufe D	Niederschlagsspenden r_N [l/(s·ha)] je Wiederkehrintervall T [a]								
	1 a	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5 min	206,7	253,3	280,0	320,0	373,3	430,0	470,0	516,7	586,7
10 min	131,7	161,7	180,0	205,0	240,0	276,7	301,7	331,7	376,7
15 min	100,0	123,3	137,8	155,6	182,2	210,0	228,9	252,2	286,7
20 min	81,7	100,8	112,5	127,5	150,0	172,5	187,5	206,7	234,2
30 min	61,7	75,6	84,4	96,1	112,2	129,4	140,6	155,0	176,1
45 min	45,9	56,7	63,0	71,9	84,1	96,7	105,2	115,9	131,9
60 min	37,5	45,8	51,4	58,3	68,3	78,6	85,3	94,2	106,9
90 min	27,8	34,3	38,1	43,3	50,7	58,5	63,5	70,2	79,6
2 h	22,6	27,8	31,0	35,1	41,3	47,5	51,5	56,9	64,6
3 h	16,8	20,6	23,0	26,1	30,6	35,3	38,2	42,2	48,0
4 h	13,6	16,7	18,6	21,1	24,8	28,5	31,0	34,2	38,8
6 h	10,1	12,4	13,8	15,7	18,4	21,2	23,0	25,4	28,8
9 h	7,5	9,2	10,2	11,6	13,6	15,7	17,1	18,9	21,4
12 h	6,0	7,4	8,3	9,4	11,0	12,7	13,8	15,3	17,3
18 h	4,5	5,5	6,2	7,0	8,2	9,4	10,2	11,3	12,8
24 h	3,6	4,5	5,0	5,6	6,6	7,6	8,3	9,1	10,4
48 h	2,2	2,7	3,0	3,4	4,0	4,6	5,0	5,5	6,2
72 h	1,6	2,0	2,2	2,5	2,9	3,4	3,7	4,1	4,6
4 d	1,3	1,6	1,8	2,0	2,4	2,7	3,0	3,3	3,7
5 d	1,1	1,4	1,5	1,7	2,0	2,3	2,5	2,8	3,2
6 d	1,0	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,4	2,8
7 d	0,9	1,1	1,2	1,3	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5

Legende

- T Wiederkehrintervall, Jährlichkeit in [a]: mittlere Zeitspanne, in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet
 D Dauerstufe in [min, h, d]: definierte Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen
 r_N Niederschlagsspende in [l/(s·ha)]



Toleranzwerte der Niederschlagshöhen und -spenden nach KOSTRA-DWD 2020

Rasterfeld : Spalte 152, Zeile 77
 Ortsname : 23560 Lübeck
 Bemerkung :

Dauerstufe D	Toleranzwerte UC je Wiederkehrintervall T [a] in [±%]								
	1 a	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5 min	11	11	12	12	13	14	14	15	15
10 min	12	14	15	16	17	18	18	19	19
15 min	13	15	16	17	19	20	20	21	21
20 min	14	16	17	18	19	20	21	21	22
30 min	14	16	17	19	20	21	22	22	23
45 min	14	16	17	19	20	21	21	22	23
60 min	13	16	17	18	20	21	21	22	22
90 min	13	15	16	17	19	20	20	21	22
2 h	12	14	15	17	18	19	20	20	21
3 h	11	13	14	15	17	18	18	19	20
4 h	10	12	13	15	16	17	18	18	19
6 h	9	11	12	14	15	16	16	17	18
9 h	9	10	11	12	14	15	15	16	16
12 h	8	10	11	12	13	14	14	15	16
18 h	8	9	10	11	12	13	13	14	15
24 h	9	9	10	10	11	12	13	13	14
48 h	10	9	10	10	11	11	12	12	13
72 h	11	10	10	10	11	11	11	12	12
4 d	12	11	11	11	11	11	11	12	12
5 d	13	12	11	11	11	11	12	12	12
6 d	14	12	12	12	12	12	12	12	12
7 d	14	13	12	12	12	12	12	12	12

Legende

- T Wiederkehrintervall, Jährlichkeit in [a]: mittlere Zeitspanne, in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet
 D Dauerstufe in [min, h, d]: definierte Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen
 UC Toleranzwert der Niederschlagshöhe und -spende in [±%]