



Bestands-Durchlass an der Strecke 1720 bei Bahn-km 221,965 (DB InfraGO AG)

Kunde: DB InfraGO AG
Projekt: Hydrologisches und hydraulisches Gutachten
Projektnummer: 118006054

Autor
Monika Donner
Alexander Eggert

Datum
06.06.2024

Mobil
+49 162 8232812

Projekt-ID
G.016220724

E-Mail
monika.donner@afry.com

Kunde
DB InfraGO AG
Regionalbereich Nord
Produktion
I.NF-N-P 2
Lindemannallee 3
30173 Hannover

Hydrologisches und hydraulisches Gutachten

Durchlass Strecke 1720, Bahn-km 221,965

i.A. Moritz Hinkelmann, M. Sc.
Qualitätssicherung

i.V. Monika Donner, Dr.
Gutachter

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	5
2	Methodik und Arbeitsgrundlagen	5
2.1	Methodik	5
2.2	Datengrundlage	5
3	Bestandsbeschreibung	6
3.1	Durchlass im Bestand	6
3.2	Wasserwirtschaftliche Situation und EZG	7
3.3	Klimatische Randbedingungen	8
3.4	Geologische Situation und Landnutzung	9
4	Bestimmung der abflusswirksamen Niederschlagshöhe	10
4.1	Erläuterung des SCS-Verfahrens	10
4.1.1	Berechnungsansatz	11
4.1.2	Gebietsspezifische Eigenschaften	12
4.1.3	Wahl der Dauerstufe für den Anfangsverlust I_a	13
4.2	Bestimmung der gebietsspezifischen Eigenschaften im SCS-Verfahren	15
4.2.1	Bestimmung des CN-Werts	15
4.2.2	Bestimmung der Dauerstufe für den Anfangsverlust I_a	15
4.3	Ermittlung der Abflussganglinie	16
4.3.1	Bestimmung maximaler statistischer Scheitelabfluss	16
4.3.2	Berechnung des Effektivniederschlags	18
5	Dimensionierung und Leistungsnachweis für den Durchlassquerschnitt	19
5.1	Vordimensionierungen des Durchlasses	19
5.1.1	Nachweis eines Kreisprofils	19
6	Zusammenfassung	20
7	Literaturverzeichnis	21
Anhang		22

Abbildungen

Abbildung 1:	EZG (rot umrandete Fläche) am DL 221,965 mit Fließweg (gestrichelte blaue Linie) sowie Kennzeichnung der Bahnstrecke 1720, Ausschnitt aus AFRY, GIS-Karte, 2024	7
Abbildung 2:	Ausschnitt aus dem KOSTRA-DWD 2020 Atlas (modifiziert durch AFRY Deutschland GmbH, 2024) zu der Rasterzelle (blauer Rahmen, Zellennummer in Grau) und Verortung des DL (Standortmarke in Schwarz). Im Hintergrund Ortslagen, Gemeindegrenzen und Siedlungsbereiche. Lage des EZG grob skizziert (rot gestricheltes Polygon)	8
Abbildung 3:	HÜK 500 im EZG (oben) und GK 50 im EZG (unten), Ausschnitt aus AFRY, GIS-Karte, 2024	9
Abbildung 4:	Landnutzung bzw. Bodenbedeckung im EZG, Ausschnitt aus AFRY, GIS-Karte, 2024.....	10
Abbildung 5:	Statistische Scheitelabflüsse für T_{20} über die betrachteten Dauerstufen (interne Berechnung, AFRY Deutschland GmbH, 2024)	17
Abbildung 6:	Intensitätsverlauf des Niederschlags nach KOSTRA DWD Atlas für $T_{20D_{120}}$ (interne Berechnung, AFRY Deutschland GmbH, 2024)	17
Abbildung 7:	Abflussganglinie mittels Einheitsganglinienverfahren für $T_{20D_{120}}$ (interne Berechnung, AFRY Deutschland GmbH, 2024)	18
Abbildung 8:	W-Q-Schlüsselkurve für den DN900 Kreisdurchlass aus rauhem Stahl mit 0,13% Gefälle	20

Tabellen

Tabelle 1:	Bodenfeuchte (Maniak, U., 2016)	12
Tabelle 2:	CN-Werte für die Bodenfeuchtekategorie II, in Abhängigkeit von der hydrologischen Bodengruppe und Landnutzung	12
Tabelle 3:	Anfangsverluste in mm entsprechend des Regionalisierungsverfahrens nach Lutz (1984).....	14
Tabelle 4:	Orientierungswerte für die Anfangsverluste I_a [%] analog zum Regionalisierungsverfahren nach Lutz (1984)	14
Tabelle 5:	Flächenanteil der Landnutzung im EZG.....	15
Tabelle 6:	Eingangsdaten zur Hydrologie für das Wiederkehrintervall T_{20}	16
Tabelle 7:	Übersicht der Ergebnisse aus dem SCS-Verfahren.....	19

Abkürzungsverzeichnis

BÜK	Bodenübersichtskarte
D _{xx}	Dauerstufe xx des Niederschlages mit xx Minuten
DB	Deutsche Bahn
DL	Durchlass
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
EÜ	Eisenbahnüberführung (Brücke)
EZG	Einzugsgebiet
GK	Geologische Karte
HÜK	Hydrogeologische Übersichtskarte
OW	Oberwasser
SCS	Soil Conservation Service
T _{yy}	Wiederkehrintervall T des Niederschlages für YY Jahre
UW	Unterwasser
UWB	Untere Wasserbehörde
Ril	Richtlinie

1 Veranlassung

Die DB InfraGO AG beabsichtigt auf der Bahnstrecke 1720 in Himmelpforten bei Bahn-km 221,965 einen Durchlass (DL) zu erneuern (im Folgenden verkürzt als DL 221,965 bezeichnet). Durch die DB InfraGO AG wurde das Planungsbüro AFRY Deutschland GmbH beauftragt, mit Hilfe eines hydrologischen und hydraulischen Gutachtens den Bemessungsabfluss für die Dimensionierung des DL zu bestimmen.

2 Methodik und Arbeitsgrundlagen

2.1 Methodik

Um die Notwendigkeit und Dimension des DL zu prüfen, ist iterativ ein Bemessungsniederschlag über dem Einzugsgebiet des DL (vgl. Abschnitt 3) und der resultierende Abfluss am DL (vgl. SCS-Verfahren in Abschnitt 4.1) zu bestimmen.

Betrachtungsgrundlage für das hydrologische Gutachten ist das angrenzende höherliegende Gelände am DL, das über den DL entwässert wird. Dieses höherliegende Gelände bezeichnet man als Einzugsgebiet (EZG) des DL. Bei Niederschlag über diesem EZG fließt das Wasser hangabwärts in Richtung Tal und sammelt sich schließlich am DL. Das EZG des DL ist nach topografischen und geologischen Gesichtspunkten, vorhandenen Fließgewässern, Siedlungsgebieten, Bahn- und Straßendämmen abzugrenzen. Entwässert ein angrenzendes EZG z.B. über einen Graben in das EZG des DL, ist dieses EZG mitzubetrachten. Die Wasserbilanz für das EZG schließt ober- und unterirdische Abflüsse infolge eines Niederschlags ein. Der am DL ankommende Oberflächenabfluss ist nicht nur vom Gefälle (bzw. Topografie) im EZG, sondern auch vom Bodentyp (bzw. Geologie) sowie der Versiegelung und Vegetation (bzw. Landnutzung) abhängig.

Je nach Niederschlagsspende und der Beschaffenheit des EZG ist mit einer mehr oder weniger großen Wassermenge am DL zu rechnen. Diese Menge wird im vorliegenden Gutachten über das sogenannte SCS-Verfahren bestimmt, welches im Abschnitt 4.1 beschrieben wird.

Im Unterwasser des DLs wird davon ausgegangen, dass das Wasser dem Gefälle folgend aus dem DL frei abfließen kann und nicht zum Einstau bzw. Rückstau in den DL führt. Soweit andere Rahmenbedingungen im Unterwasser bekannt sind, werden diese beschrieben und in den Berechnungen berücksichtigt.

Nach Bestimmung der Wassermenge am DL wird der DL unter den Vorgaben einer zukünftigen Querschnittsform hydraulisch vordimensioniert (Abschnitt 5).

2.2 Datengrundlage

Die Einzugsgebietsabgrenzung erfolgte über die frei verfügbaren Topografiekarten, Gewässerkarten und Überschwemmungsgebietskarten des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz. In diesen Karten sind neben Höhenlinien auch EZG bis zur 4. Gewässerordnung abgegrenzt. Diese Grenzen werden zusammen mit den Höhenlinien und den Entwässerungsrichtungen der vorliegenden Gräben als Basis für die Abgrenzung der EZG herangezogen.

Im Abschnitt 7 sind die verwendete Literatur und technischen Richtlinien aufgeführt. Zur Bearbeitung der vorliegenden Unterlage wurden nachfolgende Daten- und Arbeitsgrundlagen herangezogen:

- Geo++ GmbH, Lage vom DL 221,965 in Geokoordinaten für die Strecke 1720, abgerufen am 06.03.2024 von https://db.geopp.de/gnrailnav_servlet/GNOpenLayersV3
- DB InfraGO AG, BAST zur Erneuerung DL Str. 1720 km 221,965, Stand vom 12.04.2023
- Blom Deutschland GmbH, Vermessungsdaten, Längsschnitte und Querschnitt, Stand vom April 2024
- itwh GmbH, Niederschlagshöhen und -spenden des Deutschen Wetterdienstes, KOSTRA-DWD 2020, Version: 4.2

Folgende Datengrundlagen wurden für die mittels QGIS abgebildeten Karten herangezogen: Diese Karte wird im vorliegenden Gutachten als „AFRY, GIS-Karte, 2024“ bezeichnet.

- DB InfraGO AG, Lagepläne zu benachbarten Durchlässen, Bahnübergängen und Eisenbahnübergängen (IVL), Stand vom 16.02.2024
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, abgerufen am 06.05.2024 von <http://nibis.lbeg.de/net3/public/>
 - o Landbedeckung 2018 CORINE Land Cover-Karte zu Flächenverbrauch und Bodenversiegelung aus Satellitenbilddauswertungen
 - o Bodenversiegelung 2018 zu Flächenverbrauch und Bodenversiegelung aus Satellitenbilddauswertungen
 - o BÜK 500 - Bodenübersichtskarte Flächen
 - o GK 50 - Geologische Karte
 - o HÜK 500 - Hydrogeologische Karte, Durchlässigkeit der oberflächennahen Gesteine
- Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, abgerufen am 06.05.2024 von <https://www.umweltkarten-niedersachsen.de>
 - o Hydrologie – Gewässernetz
 - o Topografische Karten im Maßstab 1:10.000 – 1:25.000
 - o Hochwasserschutz - Überschwemmungsgebiete Verordnungsflächen Niedersachsen
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Digitale Orthophotos mit 40 cm Bodenauflösung, abgerufen am 06.05.2024 von https://sg.geodatenzentrum.de/dop_viewer/viewer.html

3 Bestandsbeschreibung

Die Bestandsbeschreibung umfasst die Geometrie und Lage des derzeitigen DL und beschreibt das EZG, das über den DL entwässert wird.

3.1 Durchlass im Bestand

Der bisherige DL quert die Bahnstrecke 1720 bei Bahn-km 221,965. Der DL muss altersbedingt erneuert werden, um langfristig den Betrieb auf der Bahnstrecke sicherzustellen. Der Neubau soll über einen Stahlrohrvortrieb (Durchpressung) mit ca. 5 bis 10 m zum vorhandenen DL erfolgen. Der alte Durchlass ist zu verfüllen und die Gräben beidseitig anzupassen.

Der Bestands-DL ist ein Gewölbe-DL. Grundlegende Daten wurden der BAST der DB InfraGO AG (Stand 12.04.2023) entnommen. Sofern die Vermessung (Blom Deutschland GmbH, 2024) jedoch abweichende Maße ergab, wurden diese angesetzt. Der Bestands-DL weist folgende Dimensionierung auf:

- Länge: 14,84 m (Vermessung, Blom Deutschland GmbH, 2024)
- Lichte Breite: 0,65 m (Vermessung, Blom Deutschland GmbH, 2024)
- Lichte Höhe: 0,5 m (BAST, DB InfraGO AG, 2024)
- Einlaufhöhe: 1,589 m NHN (Vermessung, Blom Deutschland GmbH, 2024)
- Auslaufhöhe: 1,569 m NHN (Vermessung, Blom Deutschland GmbH, 2024)
- Gefälle: 0,13 % (Vermessung, Blom Deutschland GmbH, 2024)

3.2 Wasserwirtschaftliche Situation und EZG

Der DL 221,965 der Strecke 1720 führt einen Graben, der nicht dauerhaft wasserführend ist. Dieser Graben entwässert das an den Bahndamm angrenzende, südliche EZG bis zum Hochpunkt an der Porta-Coeli-Schule (Abbildung 1). Das EZG ist in weiten Teilen versiegelt und weist nur am nordwestlichen, südlichen und östlichen Rand Grünflächen auf.

Das EZG (Abbildung 1) wird südlich vom Geländerücken an der Porta-Coeli-Schule und nördlich vom Bahndamm der Strecke 1720 begrenzt. Östlich reicht das EZG unter Abgrenzung des EZG des östlich liegenden DLs bei 221,103 km bis in die landwirtschaftlichen Flächen hinein. Am westlichen Rand wird das EZG von der Straße „Forth“ begrenzt.

Nahe der Porta-Coeli-Schule liegt auch der höchste Punkt im EZG mit ca. 6,5 m NHN. Die Verortung des Fließweges im EZG erfolgt über die Topografie bis zum DL.

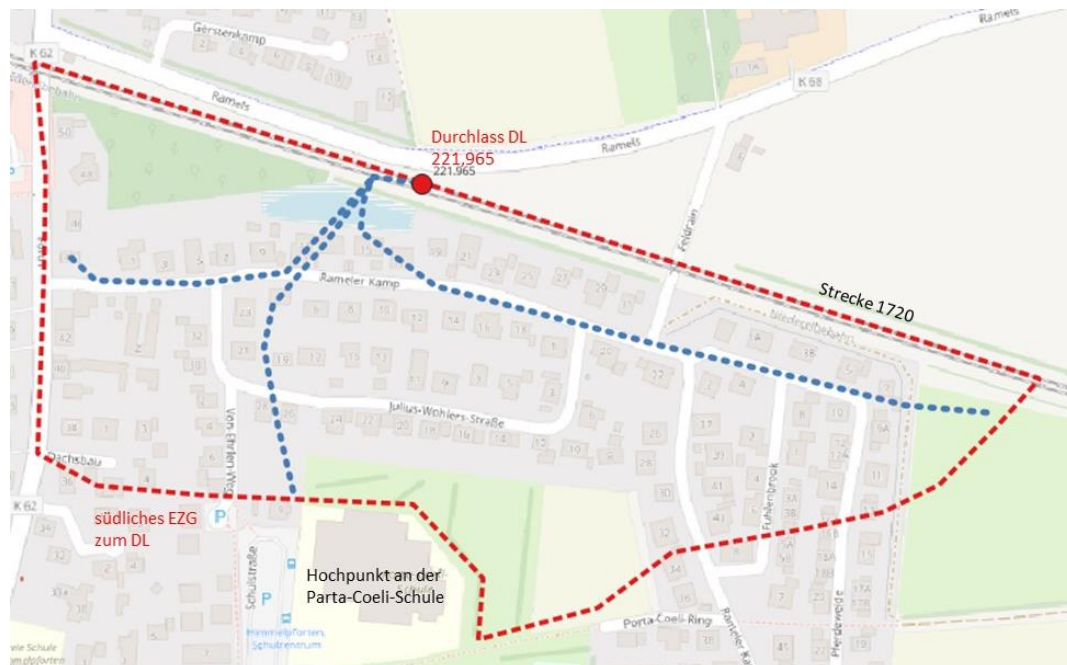


Abbildung 1: EZG (rot umrandete Fläche) am DL 221,965 mit Fließweg (gestrichelte blaue Linie) sowie Kennzeichnung der Bahnstrecke 1720, Ausschnitt aus AFRY, GIS-Karte, 2024

Die Abgrenzung des EZGs erfolgte über die frei verfügbaren Topografie- und Gewässerkarten des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz. So wurden die Höhenlinien und Entwässerungsrichtungen der Gräben als Basis für die Abgrenzung des EZG herangezogen. In den Siedlungsgebieten der Ortschaft Himmelpforten wurden

Mischwasser- oder Entwässerungsleitungen nicht detailliert eingebunden, sondern vereinfachend von einer dem Gefälle folgenden Entwässerung ausgegangen. Diese Annahme stellt einen konservativen Ansatz dar.

Das hydrologische EZG umfasst eine Fläche von ca. 0,14 km².

In diesem EZG beträgt das Gefälle des längsten Fließweges 0,96 % bei einer maximalen Fließweglänge von ca. 0,51 km. Im EZG liegt die Geländeoberkante des DL bei 1,59 m NHN und der höchste Punkt bei 6,5 m NHN am südlichen Ende des EZGs.

3.3 Klimatische Randbedingungen

Nach den Mindestvorgaben des Auftraggebers entsprechend der Ril 836.4601 (T₂₀) und durch die nicht dauerhafte Benetzung des Grabens im Bereich des DL wird ein Wiederkehrintervall T von 20 Jahren (T₂₀) angesetzt.

Die Niederschlagshöhen und -spenden werden aus dem KOSTRA-DWD 2020 Atlas des Deutschen Wetterdienstes (DWD) entnommen. Je nach EZG ist eine zugehörige Rasterzelle auszuwählen. Für den DL 221,965 ist dies Spalte 135 und Zeile 081 (Abbildung 2). Die Niederschlagshöhen und -spenden sind der Anlage 1 zu entnehmen.

Für das Wiederkehrintervall T₂₀ wird ein Modellregen vom Euler-Typ 2 angenommen, je Dauerstufe D aufgeteilt auf 6 Intervalle.

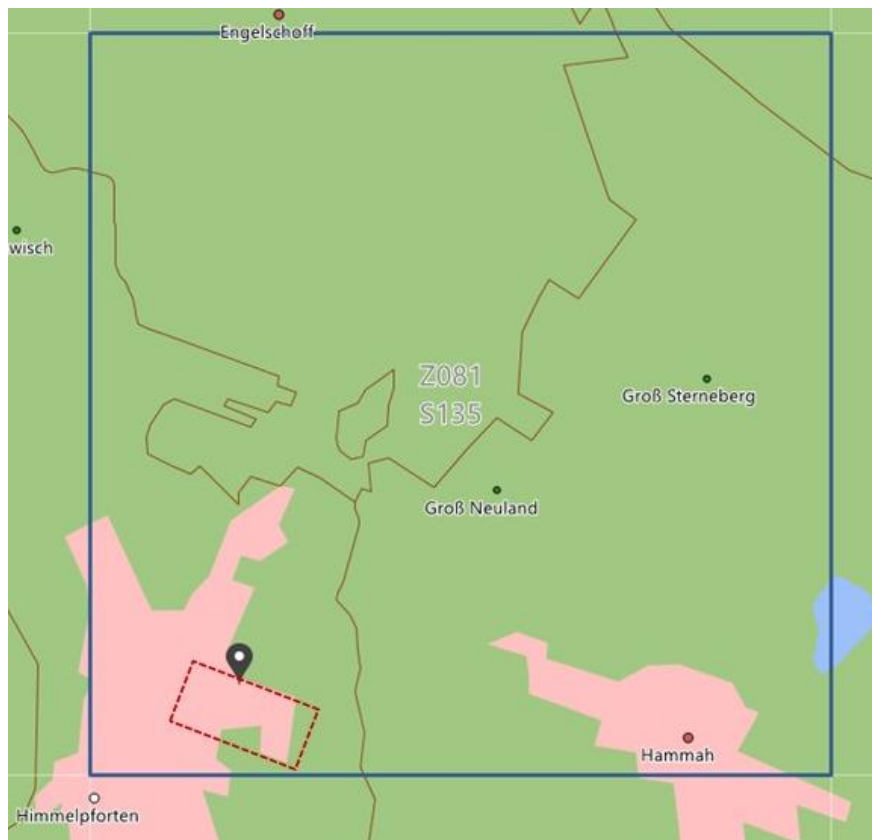


Abbildung 2: Ausschnitt aus dem KOSTRA-DWD 2020 Atlas (modifiziert durch AFRY Deutschland GmbH, 2024) zu der Rasterzelle (blauer Rahmen, Zellennummer in Grau) und Verortung des DL (Standortmarke in Schwarz). Im Hintergrund Ortslagen, Gemeindegrenzen und Siedlungsbereiche. Lage des EZG grob skizziert (rot gestricheltes Polygon)

3.4 Geologische Situation und Landnutzung

Das EZG befindet sich entsprechend der GK 50 von Niedersachsen im Bereich von Sanden mit z.T. Geschiebedecksanden, über Schluffen bzw. Geschiebelehm (Abbildung 3, unten). Der Boden im EZG wird gemäß BÜK 500 und HÜK 500 durch tonige bis schluffige Gletscherablagerungen mit geringer Durchlässigkeit geprägt (Abbildung 3, oben).

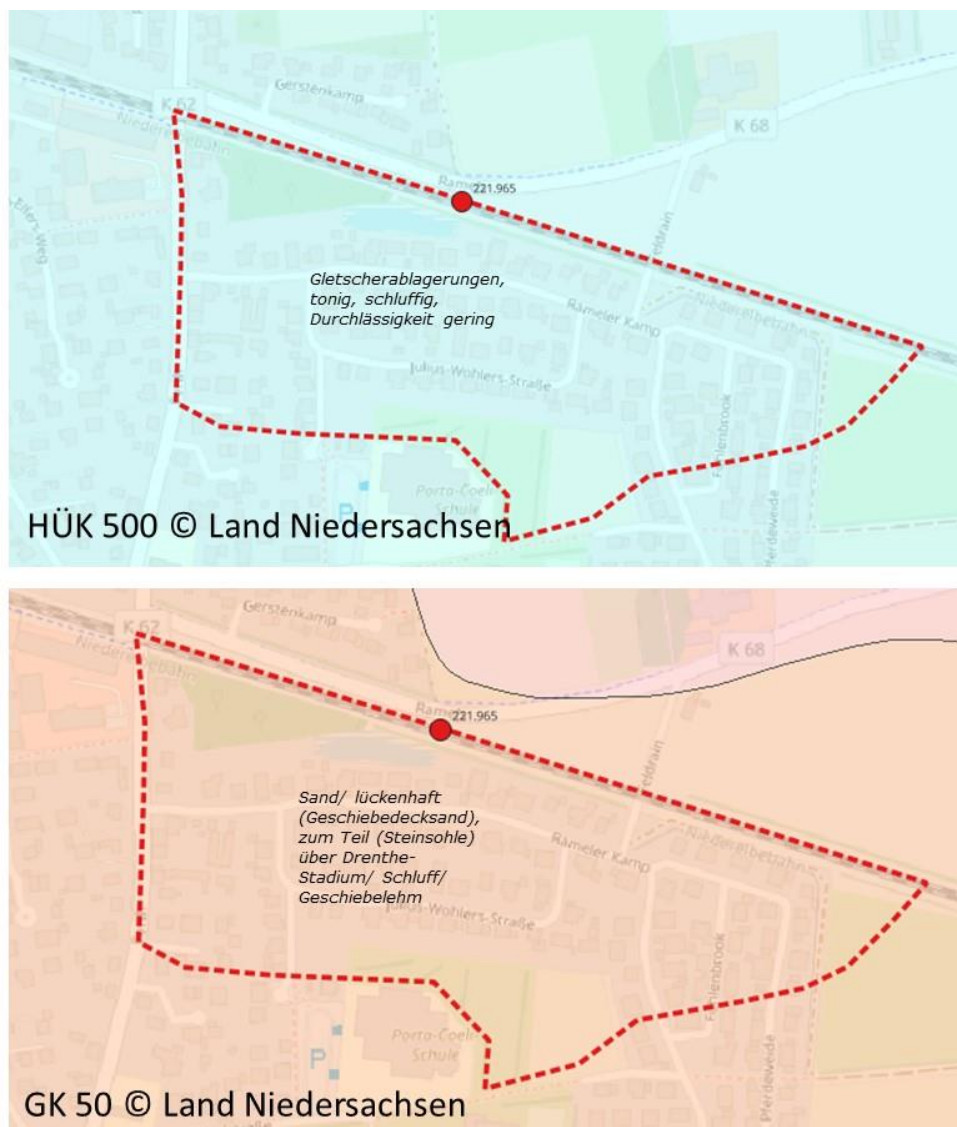


Abbildung 3: HÜK 500 im EZG (oben) und GK 50 im EZG (unten), Ausschnitt aus AFRY, GIS-Karte, 2024

Die Landnutzung bzw. Bodenbedeckung kann aus dem Datensatz CORINE Land Cover des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie (Abschnitt 2, Abbildung 4) entnommen werden. Dieser Datensatz aus 2018 ist etwas veraltet gegenüber der aktuellen Bebauung und weist im östlichen Bereich noch großflächig Ackerland, dafür im nordwestlichen Bereich nicht die bewaldete Fläche auf. Im EZG befindet sich vorwiegend lockere Bebauung mit Ackerflächen am östlichen und südlichen Rand des EZGs. Die Bodenversiegelung im EZG ist mittel bis hoch.

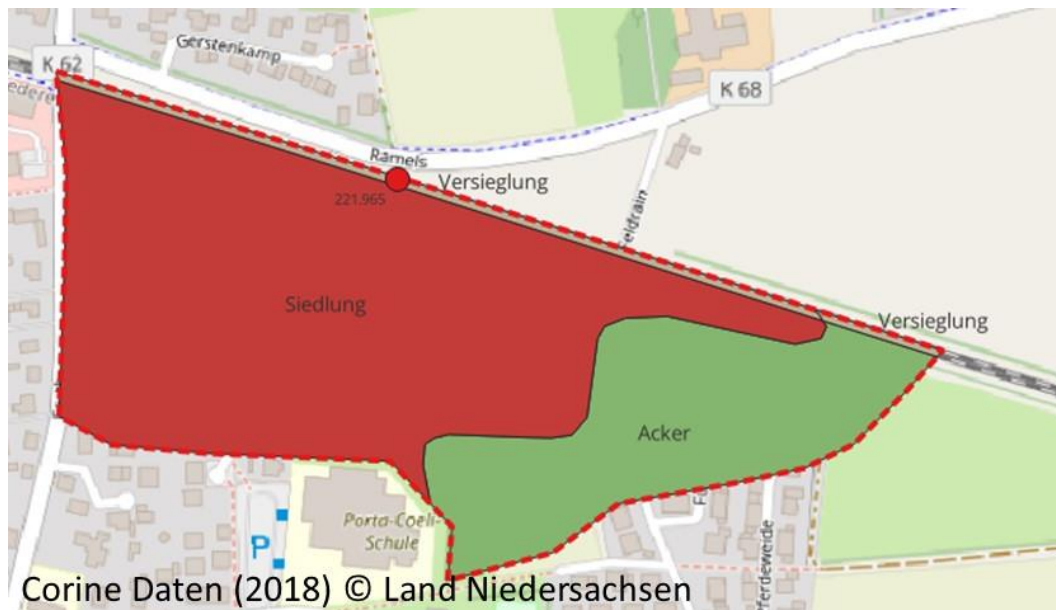


Abbildung 4: Landnutzung bzw. Bodenbedeckung im EZG, Ausschnitt aus AFRY, GIS-Karte, 2024

4 Bestimmung der abflusswirksamen Niederschlags-höhe

Für die Bestimmung der Abflussmenge im EZG mittels SCS-Verfahren wird ein 20-jähriges Niederschlagsereignis T_{20} (Abschnitt 3.3) angewendet.

4.1 Erläuterung des SCS-Verfahrens

Das SCS-Verfahren wurde vom *Soil Conservation Service (SCS)* auf Grundlage empirischer Hochwasseranalysen für kleine EZG ($A_{E0} < 8 \text{ km}^2$) ursprünglich für die USA entwickelt. Heutzutage kommt es weltweit zum Einsatz.

Beim SCS-Verfahren wird für ein abgegrenztes oberirdisches EZG ein CN-Wert aus den gebietsspezifischen Eigenschaften ermittelt. Der CN-Wert ist eine Funktion der hydrologischen Bodengruppe, der Bodenfeuchte und der Landnutzung. Es erfolgt keine direkte Analyse von Ergebnissen des Niederschlag-Abfluss-Modells. Bei diesem Verfahren wird ein konstanter Abflussbeiwert bestimmt, der für das Gesamt ereignis 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 Maximalabfluss

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 maximalem 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 EZG unmittelbar nach einem Niederschlagsereignis als Direktabfluss in einem Fließgewässer wirksam wird, ergibt sich aus den Gleichungen (4) und (5):

$$N_{eff} = \frac{[(N/25,4) - (I_a \cdot 10/CN) + (I_a/10)]^2}{[(N/25,4) + (1000 - I_a \cdot 10)/CN] - [10 - (I_a/10)]} \cdot 25,4 \text{ mm} \quad (6)$$

¹ (Maniak, U., 2016)

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

Bodenfeuchte

In drei Bodenfeuchteklassen wird der Einfluss von Vorregen und Jahreszeiten berücksichtigt. Meist wird von Bodenfeuchteklasse II ausgegangen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Bodenfeuchte (Maniak, U., 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, S. P., Auerswald, K., 2020; Maniak, U., 2016). Um Werte für die Bodenfeuchteklassen I und II zu erhalten, werden empirische Umrechnungen verwendet (Maniak, U., 2016):

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,334 - 0,01334 \cdot CN_{II}} \quad CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,4036 + 0,0059 \cdot CN_{II}} \quad (7)$$

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

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)

Landnutzung	Abflussneigung	Hydrologische Bodengruppe CN-Werte			
		A	B	C	D
	Mittel ⁷	62	74	82	85
	Niedrig ⁸	60	71	79	82
Futtermittelpflanzen ⁹ (Maniak, U., 2016)		62	75	83	82
Futtermittelpflanzen (Seibert, S. P., Auerswald, K., 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
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 von DL ein Wiederkehrintervall von T_{20} aus dem KOSTRA DWD Atlas anzusetzen (Ril 836.4601, 2008).

Während mit zunehmender Dauer des **Niederschlags** die Niederschlagsmengen steigen, 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, S. P., Auerswald, K., 2020). Aufgrund der Anfangsverluste ist als Bemessungsregen stets die nächsthöhere Dauerstufe ausgehend von t_c zu wählen.

Im KOSTRA DWD Atlas wurden Niederschlagshöhen der Jahresreihe 1951 - 2020 sämtlicher Messstationen des DWD statistisch verarbeitet. Vom DWD werden für definierte Raster sowohl diese Niederschlagshöhen als auch Niederschlagsspenden 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_{30} , D_{45} , D_{60} , D_{90} , D_{120} , D_{180} , D_{240} , D_{360} , D_{540} und D_{720}) generiert werden. Hierfür stehen die Modellregentypen „Euler Typ 1“ und „Euler Typ 2“ zur Verfügung.

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 serpentinenartig ausgebauten, Lkw-befahrbaren Forststraßen

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

¹⁵ Sand-, Kies-, Steinabbau, Bauplätze

Die Niederschlagsituation 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, U., 2016). Hierbei wird zunächst die Verzögerungszeit t_L berechnet:

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

mit: J Gefälle [%]
 L Vorfluterlänge [km]

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

$$t_c = 1,67 \cdot t_L \quad (9) \quad \text{für } \underline{\text{bebaute Gebiete}}$$

Nach *Kirpich* wird folgende Gleichung angewendet:

$$t_c = 2,0 \cdot t_L \quad (10) \quad \text{für } \underline{\text{natürliche Gebiete}}$$

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

Aus Gleichung (3) und (5) ergibt sich ein erster Orientierungswert mit $a = 0,05$ für I_a :

$$I_a = a \cdot S = a \cdot \frac{25400}{CN} - 254 \quad (11)$$

Die Berechnung mit $a = 0,05$ gilt für $N < 50$ mm. Für eine gezielte regionale Betrachtung kann der berechnete Anfangsverlust mit folgenden Werten aus Tabelle 3 bzw. Tabelle 4 auf Plausibilität geprüft und ggf. angepasst werden (Lutz, W., 1984). Als Niederschlagsmenge ist von der berechneten Dauerstufe (nächsthöher zu t_c) auszugehen:

Tabelle 3: Anfangsverluste in mm entsprechend des Regionalisierungsverfahrens nach Lutz (1984)

Bodentyp	Anfangsverluste [mm]			
	A	B	C	D
Landwirtschaftliche Flächen	7,0	4,0	2,0	1,5
Bewaldete Flächen	8,0	5,0	3,0	2,5
Versiegelte Flächen	1,0			

Tabelle 4: Orientierungswerte für die Anfangsverluste I_a [%] analog zum Regionalisierungsverfahren nach Lutz (1984)

Anfangsverluste I_a [%]								
Bodentyp	50 mm				60 mm			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Landwirtschaftliche Flächen	14,0	8,0	4,0	3,0	11,7	6,7	3,3	2,5
Bewaldete Flächen	16,0	10,0	6,0	5,0	13,3	8,3	5,0	4,2
Versiegelte Flächen	2,0				1,7			
Bodentyp	70 mm				80 mm			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Landwirtschaftliche Flächen	10,0	5,7	2,9	2,1	8,8	5,0	2,5	1,9
Bewaldete Flächen	11,4	7,1	4,3	3,6	10,0	6,3	3,8	3,1
Versiegelte Flächen	1,4				1,3			
Bodentyp	90 mm				100 mm			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Landwirtschaftliche Flächen	7,8	4,4	2,2	1,7	7,0	4,0	2,0	1,5
Bewaldete Flächen	8,9	5,6	3,3	2,8	8,0	5,0	3,0	2,5

Versiegelte Flächen	1,1				1,0			
	110 mm				120 mm			
Bodentyp	A	B	C	D	A	B	C	D
Landwirtschaftliche Flächen	6,4	3,6	1,8	1,4	5,8	3,3	1,7	1,3
Bewaldete Flächen	7,3	4,5	2,7	2,3	6,7	4,2	2,5	2,1
Versiegelte Flächen	0,9				0,8			
	130 mm				140 mm			
Bodentyp	A	B	C	D	A	B	C	D
Landwirtschaftliche Flächen	5,4	3,1	1,5	1,2	5,0	2,9	1,4	1,1
Bewaldete Flächen	6,2	3,8	2,3	1,9	5,7	3,6	2,1	1,8
Versiegelte Flächen	0,8				0,7			

4.2 Bestimmung der gebietsspezifischen Eigenschaften im SCS-Verfahren

4.2.1 Bestimmung des CN-Werts

Hydrologische Bodengruppen

Entsprechend der GK 50 für Niedersachsen (Abschnitt 2) ist der Boden im EZG geprägt von Sanden über Schluffen und Geschiebelehm (Abbildung 3, unten). Gemäß HÜK 500 liegt das EZG im Bereich gering durchlässiger oberflächennaher Gesteine.

Daraus ergibt sich die Bodengruppe C.

Bodenfeuchte

Es wird, gemäß üblicher Annahmen, von der Bodenfeuchte II ausgegangen.

Landnutzung

Über die Bodengruppe und Landnutzung wird der CN-Wert abgeleitet. Die Flächenanteile der Landnutzung wurden entsprechend aus dem Datensatz CORINE Land Cover (Abschnitt 2 und 3.4) Tabelle 5 zugewiesen und ein CN-Wert von 83,08 bestimmt.

Tabelle 5: Flächenanteil der Landnutzung im EZG

Landnutzung	Flächenanteil	Hydrologische Bodengruppe C	
		CN-Werte	CN-Anteil
Ackerflächen	0,28	82	22,82
Dörfliche Siedlung/ Wohnen	0,69	83	57,18
Straßen und Bahndamm, befestigt	0,03	94	03,08
Summe	1,00	--	83,08

4.2.2 Bestimmung der Dauerstufe für den Anfangsverlust I_a

Zur Plausibilitätsprüfung des zu berechnenden Anfangsverlusts I_a wird eingangs eine Niederschlagshöhe bzw. Dauerstufe bestimmt. Dies erfolgt über die Konzentrationszeit t_c nach Kirpich mit Gleichung (10) für bebaute Gebiete ($t_c = 1,67 \cdot t_L$) und anhand der *SCS-Lag-Formel* (8) zur Berechnung der Verzögerungszeit t_L :

$$t_c = 1,67 \cdot \left[0,342 \cdot L^{0,8} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7} \cdot J^{-0,5} \right] = 1,67 \cdot 0,45 \text{ h} = 1,67 \cdot 26,76 \text{ min} = 44,69 \text{ min}$$

mit:

J	Gefälle [%]	= 0,96
L	Vorfluterlänge [km]	= 0,51
CN	Curve Number [-]	= 83,08

Die für die Bemessung anzusetzende Dauerstufe ist somit $D = 60$ min. Die Niederschlagssumme beträgt bei $T_{20}D_{60}$ 26,4 mm. Es kann zur Berechnung des Anfangsverlusts I_a nach Gleichung (11) für den Lastfall $a = 0,05$ definiert werden:

$$I_a = a \cdot S = a \cdot \frac{25400}{CN} - 254 = 0,05 \cdot 51,72 = 2,6 \%$$

Die Niederschlagssumme bei $T_{20}D_{60}$ ist kleiner als 50 mm, sodass die Rahmenbedingung $N < 50$ mm für die Berechnung eingehalten wird und ein Vergleich mit Tabelle 3 bzw. Tabelle 4 nicht erforderlich wird.

4.3 Ermittlung der Abflussganglinie

Die Ermittlung des Bemessungsabflusses erfolgt nach dem Einheitsganglinienverfahren. Die Einheitsganglinie ist eine Abflussganglinie eines bestimmten EZG. Nach den Vorgaben der Ril 836.4601 wird ein Wiederkehrintervall T_{20} angesetzt.

4.3.1 Bestimmung maximaler statistischer Scheitelabfluss

Das Vorgehen zur Bestimmung des maximalen statistischen Scheitelabflusses erfolgt iterativ über den Effektivniederschlag. Hierbei werden die unterschiedlichen Dauerstufen der Starkniederschlagshöhen untersucht. In der nachfolgenden Abbildung 5 sind die berechneten statistischen Scheitelabflüsse der jeweiligen Dauerstufen des Wiederkehrintervalls T_{20} dargestellt (KOSTRA DWD Atlas). Untersucht wurden die Dauerstufen D_{30} , D_{45} , D_{60} , D_{90} , D_{120} , D_{240} , D_{360} , D_{540} und D_{720} . In Tabelle 6 sind die Eingangsdaten aufgelistet.

Tabelle 6: Eingangsdaten zur Hydrologie für das Wiederkehrintervall T_{20}

Eingangsdaten		Quelle
Jährlichkeit n [1/a]	0,05	Ril 836.4601
Wiederkehrintervall T [a]	T_{20}	
Dauerstufe D (zum statistischen Scheitelabfluss)	120 min	ermittelt nach Abbildung 5
Statistischer Tageshöchstwert	64,8 mm	KOSTRA DWD Atlas
Maximale Niederschlagshöhe N (zum statistischen Scheitelabfluss)	32,2 mm	

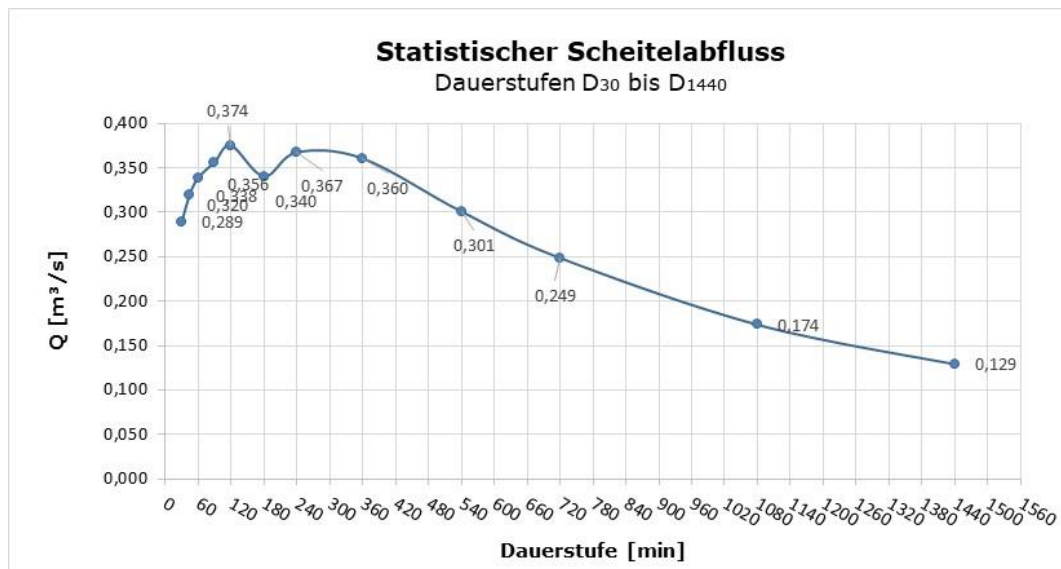


Abbildung 5: Statistische Scheitelabflüsse für T_{20} über die betrachteten Dauerstufen (interne Berechnung, AFRY Deutschland GmbH, 2024)

Hierfür wird der Gesamtniederschlag der jeweiligen Dauerstufe D in sechs einzelne Intervalle aufgeteilt. Bei einem Wiederkehrintervall von T_{20} und der Dauerstufe D₁₂₀ ergibt sich der Intensitätsverlauf in Abbildung 6.

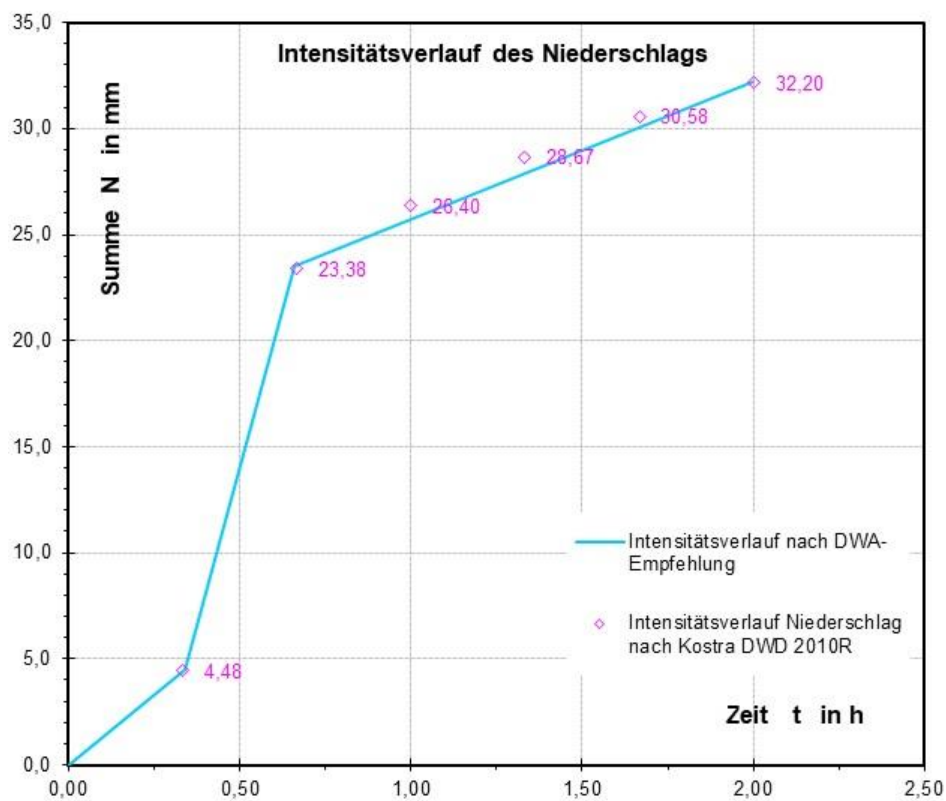


Abbildung 6: Intensitätsverlauf des Niederschlags nach KOSTRA DWD Atlas für $T_{20}D_{120}$ (interne Berechnung, AFRY Deutschland GmbH, 2024)

In Abbildung 5 ist erkennbar, dass der maximale statistische Scheitelabfluss nach 120 min mit 0,37 m³/s erreicht wurde. Dieser maximale statistische Scheitelabfluss wird als Bemessungslastfall gewählt.

4.3.2 Berechnung des Effektivniederschlags

Zur Erstellung einer Einheitsganglinie wird der Effektivniederschlag benötigt. Die Einheitsganglinie basiert auf der Annahme, dass innerhalb definierter Zeitintervalle der effektive Niederschlag (N_{eff}) von 1 mm gleichmäßig über das gesamte EZG fällt. Mithilfe einer Übertragungsfunktion vom Niederschlag N zum Abfluss Q wird die Abflussganglinie über Gleichungen (4) berechnet.

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

mit:

N_{T20}	=	32,20 mm
I_a	=	2,6 %
a	=	0,05

Die Berechnungen nach dem SCS-Verfahren ergeben für den Effektivniederschlag:

$$N_{eff,T20} = 11,53 \text{ mm} \quad \text{für } D_{120}$$

Daraus ergibt sich folgender maximaler statistischer Scheitelabfluss:

$$Q_{T20} = 0,37 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{für } D_{120}$$

Die entsprechende Abflussganglinie für $T_{20}D_{120}$ ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Kennwerte des SCS-Verfahrens sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Nach DWA-A 118 Abschnitt 6.2.1 sollte der Bemessungsabfluss maximal 90 % des Abflussvermögens entsprechen (DWA-A 118, 2006). Diese Empfehlung wird in der DWA-A 110 Abschnitt 4.1 u. a. damit erklärt, dass somit unvermeidbare Ablagerungen pauschal berücksichtigt werden (DWA-A 110, 2006).

Für die Dimensionierung des DL ergibt sich mit einer hydraulischen Reserve von 10 % bei $Q_{bem, T20}$ ein Bemessungsabfluss von **0,41 m³/s**.

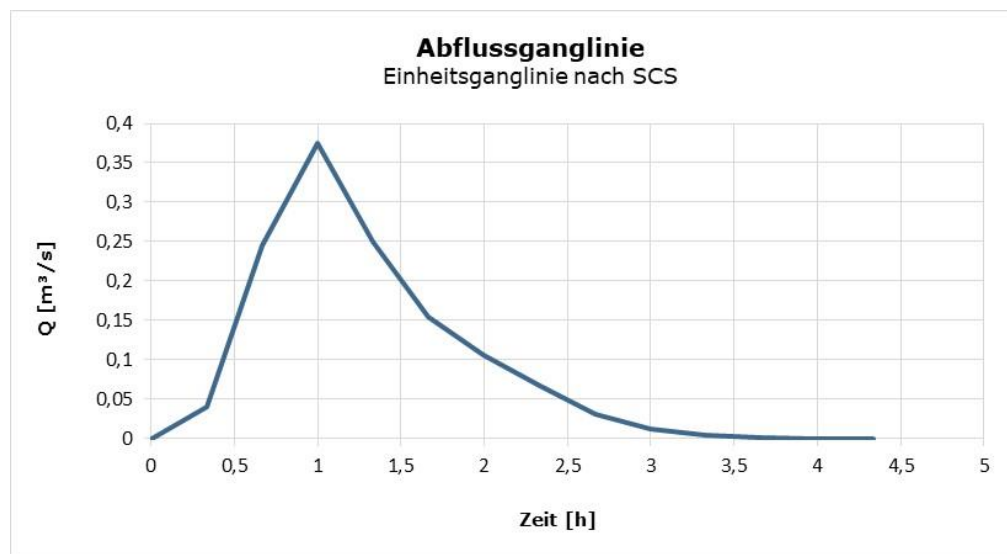


Abbildung 7: Abflussganglinie mittels Einheitsganglinienverfahren für $T_{20}D_{120}$ (interne Berechnung, AFRY Deutschland GmbH, 2024)

Tabelle 7: Übersicht der Ergebnisse aus dem SCS-Verfahren

	T₂₀
CN-Wert	83,08
Anfangsverlust I _a	2,6 %
Gesamtniederschlag N	32,20 mm
Effektivniederschlag N _{eff}	11,53 mm
Statistischer Scheitelabfluss	0,37 m³/s
Bemessungsabfluss Q_{bem} nach DWA	0,41 m³/s

5 Dimensionierung und Leistungsnachweis für den Durchlassquerschnitt

Im Lastfall „Niederschlag über dem EZG“ wird im Unterwasser des DL davon ausgegangen, dass das Wasser dem Gefälle folgend aus dem DL frei abfließen kann und nicht zum Einstau bzw. Rückstau in den DL führt. Soweit andere Rahmenbedingungen im Unterwasser bekannt sind, werden diese beschrieben und in den Berechnungen berücksichtigt.

5.1 Vordimensionierungen des Durchlasses

Der hydraulische Leistungsnachweis für den potenziellen Neubau des DL auf der Strecke 1720 bei Bahn-km 221,965 erfolgt über das Arbeitsblatt DWA-A 110 (DWA-A 110, 2006). Als Bemessungsabfluss Q_{bem, T20} werden 0,41 m³/s aus Tabelle 7 zugrunde gelegt. Die Dimensionierung des Durchlasses wird mit einem Gefälle von 0,13 % vorgenommen.

Als Rauheit (k_b-Wert) wird ein rauhes Betonrohr angesetzt. Für die Vordimensionierung wird eine mittlere Rauheit der Wandung von 10 mm berücksichtigt. Dies entspricht ca. einer Rauheit k_{st} von 60 m^{1/3}/s nach Manning Strickler.

5.1.1 Nachweis eines Kreisprofils

Der derzeitige Durchlass soll ca. 5 bis 10 m parallel zur bisherigen Lage mit einem Kreisquerschnitt verrohrt werden.

Für ein Kreisprofil lautet die allgemeine Fließformel nach Prandtl-Colebrook:

$$v_m = -2 \lg \left(\frac{2,51 \cdot v}{D \cdot \sqrt{2 g \cdot D \cdot I_E}} + \frac{k_b}{3,71 \cdot D} \right) \cdot \sqrt{2 g \cdot D \cdot I_E}$$

Mittels nachfolgender Grundgleichungen der Gerinnehydraulik ergibt sich aus $v_m = \frac{Q}{A}$ mit $A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ folgende Abflussformel:

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

$$D_{T20} = 900 \text{ mm}$$

mit:

D – Durchmesser [m]

- I_E – Energieliniengefälle bei stationär gleichförmigem Abfluss im DL
 $\rightarrow I_E = I_S$ (Sohlgefälle) = 0,0013 [-]
 k_b – Rauheit [mm] mit 10 mm (ca. Rauheit k_{st} von 60 $m^{1/3}/s$)
 ν – kinematische Viskosität bei 10 °C = $1,31 \cdot 10^{-6} m^2/s$
 g – Erdbeschleunigung = $9,81 m/s^2$

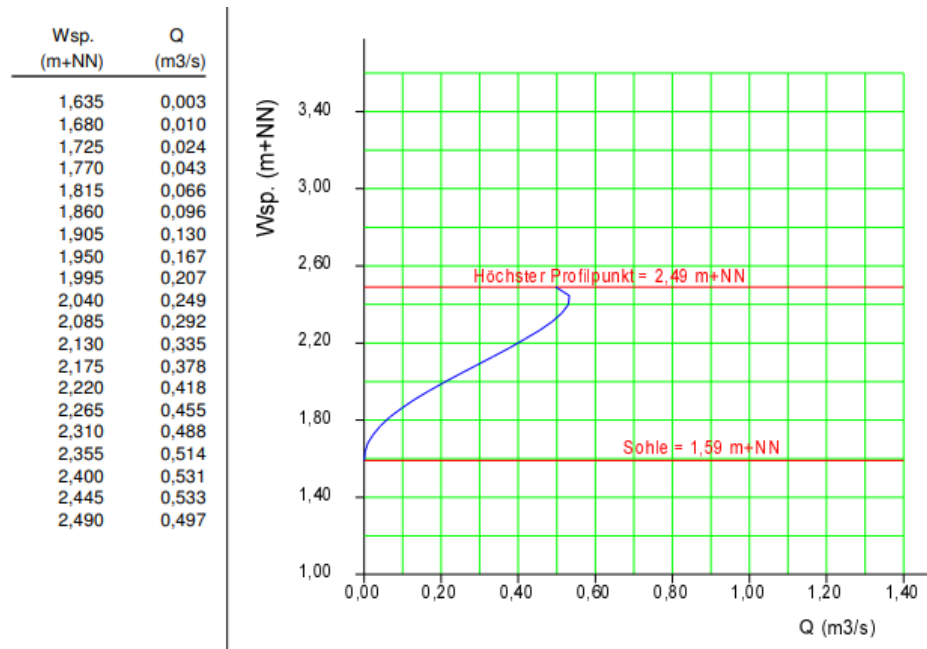


Abbildung 8: W-Q-Schlüsselkurve für den DN900 Kreisdurchlass aus rauhem Stahl mit 0,13% Gefälle

Die maximale Abflussleistung ergibt rechnerisch 0,53 m^3/s bei einem Wasserstand von 86 cm im Durchlass. Der Bemessungswert von 0,41 m^3/s ist bei einer Füllhöhe von 62 cm erreicht.

6 Zusammenfassung

Der DL wird für ein Niederschlagsereignis eines 20-jährigen Wiederkehrintervalls T_{20} ausgelegt. Inklusive einer hydraulischen Reserve von 10 % ist bei einem Niederschlagsereignis eines T_{20} ein Bemessungsabfluss von 0,41 m^3/s abzuführen. Der neue DL kann mit einem Stahlbeton oder Stahl-DL in einem Gefälle von 0,13 % verrohrt werden, um den Bemessungsabfluss abzuführen. Die Vordimensionierung ergab einen erforderlichen Kreisdurchlass mit DN900.

7 Literaturverzeichnis

- Albert, A. (2022). *Schneider - Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen*. Köln: Reguvis Verlag.
- 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*.
- Lutz, W. (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.
- Ril 836.4601. (2008). *Richtlinie 836 4601 - Entwässerungsanlagen, Grundsätze*.
- Seibert, S. P., Auerswald, K. (2020). *Hochwasserminderung im ländlichen Raum: Ein Handbuch zur quantitativen Planung*.

Anhang

Anhang 1: KOSTRA Niederschlagshöhen und -spenden zur Rasterzelle **Z081/S135**



Niederschlagshöhen nach KOSTRA-DWD 2020

Rasterfeld : Zeile 81, Spalte 135 INDEX_RC : 081135
 Ortsname : Strecke 1720, Durchlass 221,965 km
 Bemerkung : Strecke 1720, Durchlass 221,965 km

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	5,7	6,9	7,6	8,6	10,0	11,4	12,3	13,6	15,3
10 min	7,5	9,0	10,0	11,2	13,1	14,9	16,1	17,7	20,0
15 min	8,6	10,4	11,5	12,9	15,0	17,2	18,6	20,4	23,1
20 min	9,5	11,4	12,6	14,2	16,5	18,9	20,4	22,4	25,3
30 min	10,8	13,0	14,3	16,1	18,7	21,4	23,2	25,5	28,8
45 min	12,2	14,7	16,2	18,3	21,2	24,2	26,2	28,8	32,5
60 min	13,2	16,0	17,7	19,9	23,1	26,4	28,5	31,4	35,4
90 min	14,9	18,0	19,9	22,4	26,0	29,7	32,1	35,3	39,8
2 h	16,2	19,5	21,6	24,3	28,2	32,2	34,9	38,3	43,3
3 h	18,2	21,9	24,2	27,3	31,6	36,2	39,1	43,0	48,6
4 h	19,7	23,8	26,3	29,6	34,3	39,2	42,4	46,7	52,7
6 h	22,1	26,6	29,4	33,1	38,5	44,0	47,6	52,3	59,1
9 h	24,7	29,8	33,0	37,1	43,1	49,3	53,3	58,6	66,2
12 h	26,8	32,3	35,8	40,3	46,7	53,4	57,8	63,5	71,7
18 h	30,0	36,2	40,0	45,1	52,3	59,8	64,7	71,1	80,3
24 h	32,5	39,2	43,4	48,9	56,7	64,8	70,1	77,1	87,1
48 h	39,5	47,6	52,7	59,3	68,8	78,7	85,1	93,5	105,6
72 h	44,2	53,3	59,0	66,4	77,1	88,1	95,3	104,7	118,3
4 d	47,9	57,8	63,9	71,9	83,5	95,4	103,2	113,5	128,1
5 d	51,0	61,5	68,0	76,5	88,8	101,5	109,9	120,7	136,4
6 d	53,6	64,7	71,5	80,5	93,5	106,8	115,6	127,0	143,5
7 d	56,0	67,5	74,7	84,0	97,6	111,5	120,6	132,6	149,8

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]

KOSTRA-DWD 2020

Nach den Vorgaben des Deutschen Wetterdienstes - Hydrometeorologie -



Niederschlagsspenden nach KOSTRA-DWD 2020

Rasterfeld : Zeile 81, Spalte 135 INDEX_RC : 081135
 Ortsname : Strecke 1720, Durchlass 221,965 km
 Bemerkung : Strecke 1720, Durchlass 221,965 km

Dauerstufe D	Niederschlagsspenden rN [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	190,0	230,0	253,3	286,7	333,3	380,0	410,0	453,3	510,0
10 min	125,0	150,0	166,7	186,7	218,3	248,3	268,3	295,0	333,3
15 min	95,6	115,6	127,8	143,3	166,7	191,1	206,7	226,7	256,7
20 min	79,2	95,0	105,0	118,3	137,5	157,5	170,0	186,7	210,8
30 min	60,0	72,2	79,4	89,4	103,9	118,9	128,9	141,7	160,0
45 min	45,2	54,4	60,0	67,8	78,5	89,6	97,0	106,7	120,4
60 min	36,7	44,4	49,2	55,3	64,2	73,3	79,2	87,2	98,3
90 min	27,6	33,3	36,9	41,5	48,1	55,0	59,4	65,4	73,7
2 h	22,5	27,1	30,0	33,8	39,2	44,7	48,5	53,2	60,1
3 h	16,9	20,3	22,4	25,3	29,3	33,5	36,2	39,8	45,0
4 h	13,7	16,5	18,3	20,6	23,8	27,2	29,4	32,4	36,6
6 h	10,2	12,3	13,6	15,3	17,8	20,4	22,0	24,2	27,4
9 h	7,6	9,2	10,2	11,5	13,3	15,2	16,5	18,1	20,4
12 h	6,2	7,5	8,3	9,3	10,8	12,4	13,4	14,7	16,6
18 h	4,6	5,6	6,2	7,0	8,1	9,2	10,0	11,0	12,4
24 h	3,8	4,5	5,0	5,7	6,6	7,5	8,1	8,9	10,1
48 h	2,3	2,8	3,0	3,4	4,0	4,6	4,9	5,4	6,1
72 h	1,7	2,1	2,3	2,6	3,0	3,4	3,7	4,0	4,6
4 d	1,4	1,7	1,8	2,1	2,4	2,8	3,0	3,3	3,7
5 d	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3	2,5	2,8	3,2
6 d	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,2	2,4	2,8
7 d	0,9	1,1	1,2	1,4	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
- rN Niederschlagsspende in [l/(s·ha)]



Toleranzwerte der Niederschlagshöhen und -spenden nach KOSTRA-DWD 2020

Rasterfeld : Zeile 81, Spalte 135 INDEX_RC : 081135
 Ortsname : Strecke 1720, Durchlass 221,965 km
 Bemerkung : Strecke 1720, Durchlass 221,965 km

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	13	14	15	15	16	17	17	18	18
10 min	15	16	17	18	19	20	21	21	22
15 min	16	18	18	20	21	22	23	23	24
20 min	16	18	19	20	22	23	23	24	25
30 min	16	18	19	20	22	23	23	24	25
45 min	15	18	19	20	21	23	23	24	25
60 min	15	17	18	19	21	22	23	23	24
90 min	14	16	17	18	20	21	21	22	23
2 h	13	15	16	17	19	20	20	21	22
3 h	12	14	15	16	17	18	19	20	20
4 h	11	13	14	15	16	17	18	19	19
6 h	11	12	13	14	15	16	17	17	18
9 h	11	12	12	13	14	15	16	16	17
12 h	11	12	12	13	14	14	15	15	16
18 h	12	12	12	13	13	14	14	15	15
24 h	13	13	13	13	13	14	14	14	15
48 h	16	15	15	15	14	15	15	15	15
72 h	18	17	17	16	16	16	16	16	16
4 d	20	19	18	17	17	17	17	17	17
5 d	21	20	19	19	18	18	18	18	17
6 d	22	21	20	20	19	19	18	18	18
7 d	23	22	21	20	20	19	19	19	19

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 [±%]