

**Raiffeisenbank Küps Mitwitz e.G.
Radweg 1
96328 Küps**



**Gemeinde Lichtenfels
Ortsteil Bohnberg**

**HYDROTECHNISCHE BERECHNUNGEN ZUR ENTWÄSSERUNG
DES RAIBA BÜRGERSOLARPARKS BOHNBERG**

Aufgestellt:

Nürnberg, 13.09.2024

GAUL INGENIEURE GmbH · Gundelsheimer Str. 110 · 96052 Bamberg

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorhabensträger	1
2.	Zweck des Vorhabens	1
3.	Grundstücksverzeichnis	2
4.	Grundlagen.....	2
4.1	Oberflächenabfluss im Bestand	2
4.2	Ortsbegehung	3
4.3	Einzugsgebiete.....	5
4.4	Einzugsflächen und Nutzungen im Bestand	6
4.5	Topografie	7
4.6	Hydrologische Grundlagen.....	7
4.7	Grundwasser-/Bodenverhältnisse	8
5.	Geplante Bebauung.....	8
6.	Hydraulische Nachweise	10
6.1	Fließweganalyse	10
6.2	Abflussbeiwertermittlung	10
6.3	Hydrotechnische Berechnung des Abflussvolumens.....	12
6.3.1	Teileinzugsgebiet Scheidebächlein	12
6.3.2	Teileinzugsgebiet Namenloser Graben	13
7.	Entwässerungskonzept	14
7.1	Planung von Rückhaltemaßnahmen	14
7.2	Teileinzugsgebiet Namenloser Graben.....	14
7.3	Teileinzugsgebiet Scheidebächlein.....	16
7.3.1	Auffangbecken Südhang	16
7.3.2	Retentionsmulden.....	18
7.4	Nachweis Rückhaltevolumen	19
8.	Zusammenfassung und Fazit	20
9.	Literatur- und Quellenverzeichnis	21

Anlagenverzeichnis

	Bezeichnung	Kurzzeichen	Maßstab
Anlage 1	Übersichtslageplan	ÜLP	1 : 10.000
Anlage 2	Teileinzugsgebiete und Fließwege Bestand	LP EZG	1 : 3.000
Anlage 3	Einzugsgebiete Gewässersysteme	LP GS	1 : 5.000
Anlage 4	Lageplan Nutzung Ist/-Planzustand	LP NUT	1 : 2.500
Anlage 5.1	Lageplan Entwässerungskonzept	LP1 PLAN	1 : 2.500
Anlage 5.2	Lageplan Entwässerungskonzept Geländekonturen	LP2 PLAN	
Anlage 6.1	Abflussbeiwertermittlung Einzugsgebiet Scheidebächlein - Bestand	[-]	[-]
Anlage 6.2	Abflussbeiwertermittlung Einzugsgebiet Namenloser Graben - Bestand	[-]	[-]
Anlage 7.1	Abflussbeiwertermittlung Einzugsgebiet Scheidebächlein - Planung	[-]	[-]
Anlage 7.2	Abflussbeiwertermittlung Einzugsgebiet Namenloser Graben - Planung	[-]	
Anlage 8	KOSTRA DWD 2020 Datenblatt		[-]
Anlage 9	Nachweis Versickerungsversuche Dr. G.Pedall Ingenieurbüro GmbH vom 13.06.2024		[-]

1. Vorhabensträger

Vorhabensträger ist die Raiffeisenbank Küps-Mitwitz-Stockheim eG mit Sitz im Radweg 1, 96328 Küps.

2. Zweck des Vorhabens

Die Raiffeisenbank Küps-Mitwitz-Stockheim eG plant die Errichtung eines Bürgersolarparks im Ortsteil Bohnberg der Stadt Lichtenfels. Die vorgesehenen Flächen entwässern im natürlichen Zustand südlich in das Gewässersystem Scheidebächlein (Gew. III. Ordnung) und nördlich in einen namenlosen Graben. Die Solarmodule sollen in aufgeständerter Bauweise, mit einem Neigungswinkel von 18° errichtet werden. Durch die Bebauung erfolgt ein Eingriff in das natürliche Abflussverhalten.

Das Gewässersystem Scheidebächlein sowie der namenlose Graben münden in das Gewässer Ziegengraben, welches im weiteren Verlauf auf die Ortschaft Obersdorf trifft. Derzeit werden aufgrund vergangener Starkregenereignisse und Überflutungen im Bereich von Bebauungen entlang des Scheidbachs und seiner Zuläufe Hochwasserschutzkonzeptmaßnahmen erarbeitet.

Für die Errichtung des Bürgersolarparks sollen daher hydrologische Untersuchungen durchgeführt werden, in welchem Umfang eine Reduzierung der Abflussspitzen und eine gedrosselte Entwässerung aus dem Bürgersolarpark möglich ist. Des Weiteren soll eine Versickerung von Oberflächenwasser zur Grundwasserneubildung untersucht werden. Die Maßnahmen werden hinsichtlich technischer Umsetzbarkeit untersucht.

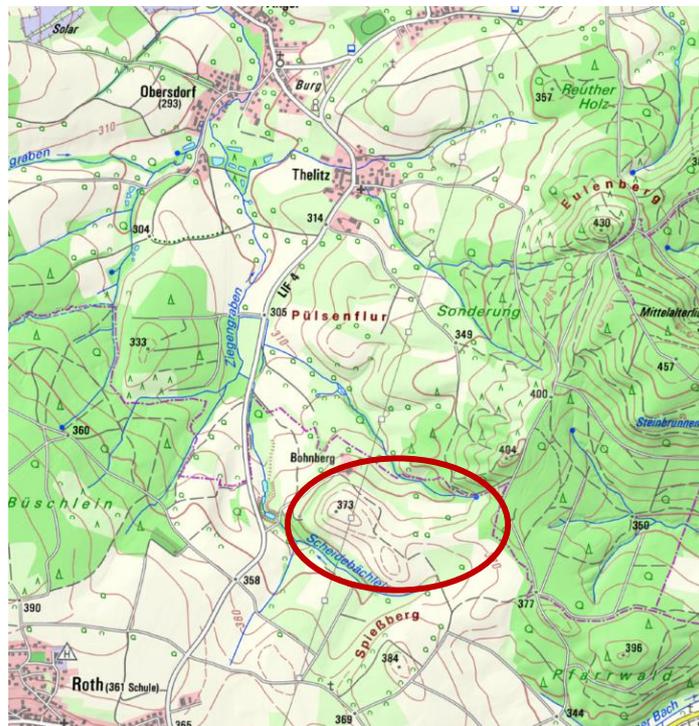


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet (© Geobasisdaten Bayern)

3. Grundstücksverzeichnis

Folgende Grundstücke sind im Rahmen dieses Vorhabens als relevant zu betrachten:

Hauptnutzung	Flurnummer	Gemarkung
Landwirtschaft	311 -324	Roth
Grünland	384	Roth
Grünland	385	Roth

Tabelle 1: Grundstücksverzeichnis

4. Grundlagen

4.1 Oberflächenabfluss im Bestand

Im Untersuchungsgebiet liegen vorrangig landwirtschaftlich extensiv und intensiv genutzte Flächen vor. Diese sind unmittelbar auf und um die Anhöhe (373,00 m NHN) des Geländes angeordnet. Umgrenzt werden diese Ackerflächen mit einem Mantel an extensiver Grünfläche, der vorwiegend durch starke Gefälle im südlichen Bereich von ca. 19 bis 21 % geprägt ist. Im nord-westlichen Bereich werden die Flächen landwirtschaftlich als Ackerflächen genutzt und weisen ein durchschnittliches Gefälle von ca. 9 – 14 % auf.

Im Nord-Westen grenzt das Untersuchungsgebiet an ein forst- und landwirtschaftlich genutztes Anwesen, welches mit seiner Zufahrtstraße die einzige Wohnbebauung im größeren Umkreis darstellt. Im Süd-Westen verläuft das Gewässer Scheidebächlein und mündet nord-westlich der Bebauung nach Querung der Bundesstraße LIF 4 in das Gewässer Ziegengraben.

Im Nord-Osten grenzt das Untersuchungsgebiet an einen namenlosen Graben, der ebenfalls durch die Abflüsse des Gebietes gespeist wird und weiter nördlich ebenfalls in den Ziegengraben mündet.

Das Untersuchungsgebiet stellt aufgrund der Ausprägung als Anhöhe eine Wasserkuppe dar. Mit dieser Ausprägung bildet das Untersuchungsgebiet den Anfang der zwei vorliegenden Einzugsgebiete des Scheidebächleins und des namenlosen Grabens (siehe hierzu auch Anlage 2). Daher sind für die Entwässerungskonzeptplanungen des Bürgersolarparks auch nur die bereits angesetzten Flächen und keine Zuflüsse von anderweitigen Flächen zu berücksichtigen.

Bei Niederschlagsereignissen erfolgt ein Oberflächenabfluss ausgehend von der Anhöhe in alle Himmelsrichtungen über die landwirtschaftliche Nutzung in die Gewässersysteme hinweg. Besonders stark ausgeprägte Fließpfade ergeben sich hierbei nicht. Das Oberflächenwasser wird nicht auf künstliche Weise z.B. über Entwässerungsgräben gefasst und gezielt abgeführt. Es tragen ausschließlich die natürlich vorliegenden Geländestrukturen zum Oberflächenabfluss bei.

Entlang der westlichen Zufahrt in das Untersuchungsgebiet, angrenzend an das landwirtschaftliche Anwesen „Bohnberg 1“ verläuft im Bestand ein Fließpfad, der südlich entlang der Scheune verläuft und mit einem Volumen bis zu 2,3 m³ eine kleine örtliche Senke bildet. Die Scheunenbebauung dient in diesem Fall als Abflusshindernis und -lenker zugunsten der unterliegenden Wohnbebauung, welches den Fließweg in Richtung Nord-Osten umleitet.



Abbildung 2: Ausschnitt Fließwege und Senken des Oberflächenabflusses im Untersuchungsgebiet

Weitere Senken ergeben sich nur außerhalb des Untersuchungsgebietes im Bereich der Weiheranlagen westlich, die durch das Gewässersystem Scheidebächlein gespeist werden.

4.2 Ortsbegehung

Das Gelände wurde bei einem Ortstermin am 02.07.2024 begangen, in Abbildung 3 bis Abbildung 11 sind die vorhandenen Strukturen dokumentiert.



Abbildung 3: Ackerflächen im süd-östlichen Geltungsbereich und Begleithölzer des Scheidebächlein



Abbildung 4: Scheidebächlein und Ackerflächen mit Neigung der Flächen



Abbildung 5: Extensives Grünland im südlichen Bereich



Abbildung 6: Extensives Grünland im westlichen Bereich



Abbildung 7: Untersuchungsgebiet Bereich Nord-Ost (Einzugsgebiet namenloser Graben)



Abbildung 8: Wasserkuppe Untersuchungsgebiet und Versorgungsstrasse



Abbildung 9: Grünland im Untersuchungsbereich Nord-Ost



Abbildung 10: Ackerfläche auf der Anhöhe



Abbildung 11: Zufahrtbereich Nord-West über landwirtschaftliches Anwesen

4.3 Einzugsgebiete

Für die hydraulische Berechnung werden die natürlichen Einzugsgebiete des Oberflächenabflusses im Geltungsbereich ermittelt. Der Bürgersolarpark soll auf den Flurstücksnummern 311-324, 384 und 385 Gemarkung Roth umgesetzt werden. Hierzu wird das Einzugsgebiet auf Basis des digitalen Oberflächenmodells DGM1 der Bayerischen Vermessungsverwaltung Stand 31.10.2023 ermittelt.

Im Geltungsbereich ergeben sich zwei Einzugsgebiete, zum einen das Einzugsgebiet des Gewässers Scheidebächlein im Westen, Süden und Osten und zum anderen das Einzugsgebiet des Namenlosen Grabens im Norden. Die Flächengröße der Einzugsgebiete ist in der Tabelle 2 aufgeführt. Eine grafische Darstellung der Einzugsgebiete finden Sie in der Anlage 2.

Einzugsgebiet [Geltungsbereich]	Fläche [ha]	Prozentualer Flächenanteil Geltungsbereich [%]
Scheidebächlein	12,10	50,36
Namenloser Graben	11,92	49,64
Gesamteinzugsgebiet Geltungsbereich	24,02	100

Tabelle 2: Übersicht Daten Einzugsgebiete

Bei Betrachtung der Gesamteinzugsgebiete des Scheidebächleins und des Namenlosen Grabens bis zur jeweiligen Einleitung in das Gewässer Ziegengraben ergeben sich die folgende Flächenanteile wie in Tabelle 3 dargestellt. Die Flächen des Geltungsbereiches betragen weniger als ein Viertel, gemessen an den gesamtabflussrelevanten Einzugsgebietsflächen der Gewässersysteme, siehe hierzu auch Anlage 3.

Einzugsgebiet [Gesamt]	Fläche [ha]	Prozentualer Flächenanteil Geltungsbereich am Einzugsgebiet [%]
Scheidebächlein	80,01	15,12
Namenloser Graben	64,22	18,56
Gesamteinzugsgebiete bis Einleitung Ziegengraben	144,23	16,65

Tabelle 3: Übersicht Flächenanteile Geltungsbereich an den Gesamteinzugsgebieten

4.4 Einzugsflächen und Nutzungen im Bestand

Die Flächennutzungen innerhalb des Geltungsbereiches für den Istzustand werden auf Grundlage der aktuell verfügbaren Daten zur tatsächlichen Nutzung der bayerischen Vermessungsverwaltung ermittelt und anhand von Plausibilitätsprüfungen mit Luftbildern und Vor-Ort-Begehungen validiert.

Istzustand - Nutzungsart	Fläche [ha]	Flächenanteil [%]
Fläche gemischter Nutzung	0,03	0,1
Ackerland	13,99	58,2
Grünland	9,18	38,2
Wald	0,12	0,5
Weg	0,25	1,0
Unland/Vegetationslose Fläche	0,14	0,6
Gehölz	0,31	1,3
Summe	24,02	100

Tabelle 4: Flächennutzungen im Geltungsbereich

Wie in Tabelle 4 und den Bildern der Ortsbegehung in Abbildung 3 bis Abbildung 11 ersichtlich, wird im vorgesehenen Geltungsbereich vorrangig landwirtschaftliche Nutzung betrieben.

4.5 Topografie

Als topografische Basisdaten werden Laserscan-Daten in einem regelmäßig angeordneten Gitternetz mit einer Maschenweite von 1 m x 1 m verwendet. Sie wurden vom Bayerischen Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung zur Verfügung gestellt. Diese Daten werden über ein Laserscanning-Verfahren, u. a. mittels Doppel-Impuls ermittelt und enthalten auch in Waldgebieten genaue Information über die Geländeoberfläche (Trennung der Bodenpunkte und der Objektpunkte aufgrund des Doppel-Impuls-Verfahrens). Die Höhengenaugkeit wird mit mindestens $\pm 0,2$ m, die Lagegenauigkeit mit $\pm 0,5$ m angegeben. In der Praxis zeigt sich, dass die Höhengenaugkeit auch von der Geländenutzung und Topografie beeinflusst wird. Auf ebenen Flächen mit niedrigem Bewuchs ist die Höhengenaugkeit mindestens 0,05 m, in dichtbewachsenem Waldgebiet liegt die Genauigkeit bei $\pm 0,2$ m.

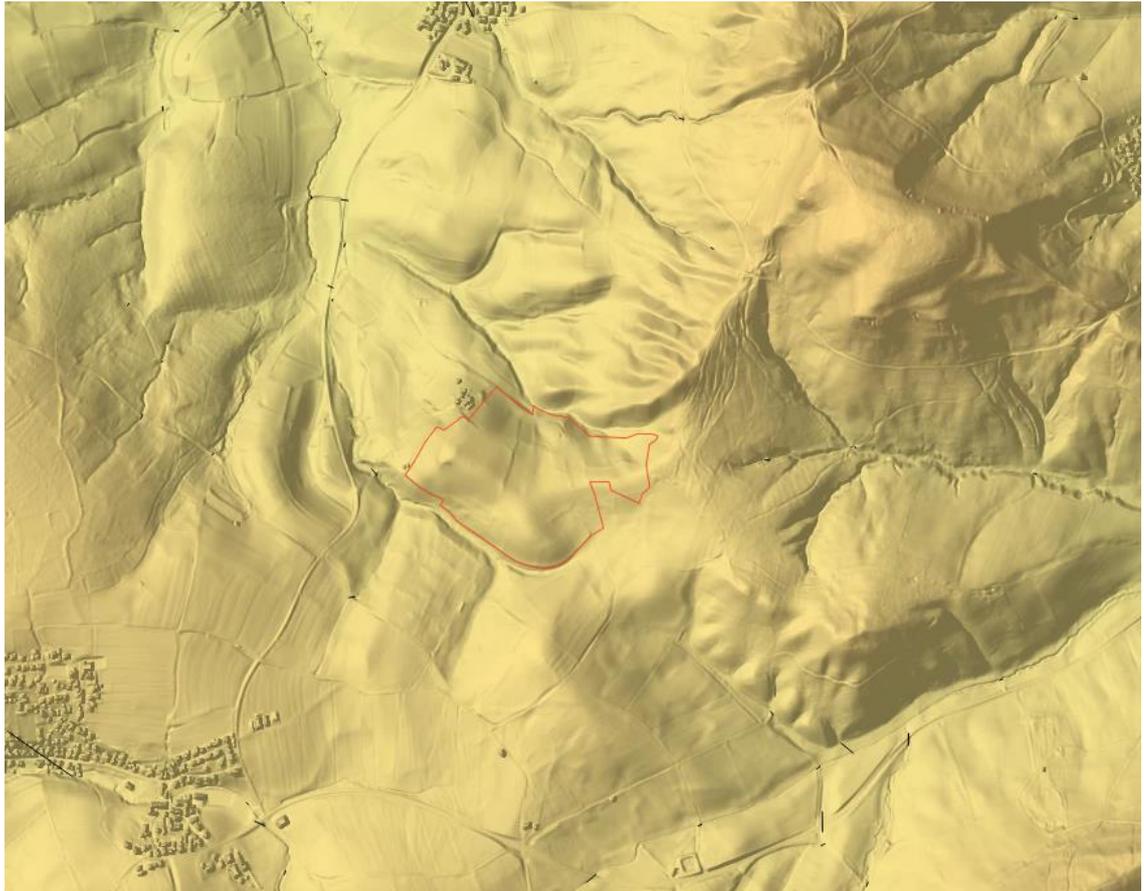


Abbildung 12: Auszug Topografie im Geltungsbereich (rot umrandet)

4.6 Hydrologische Grundlagen

Die Niederschlagsspenden zur quantitativen Berechnung werden aus dem Starkregenkatalog KOSTRA-DWD (Stand 2020, Version KOSTRA-DWD 2020 4.1.3) gewählt. Für den Standort wird das KOSTRA-Datenblatt für Bohnberg aus dem Rasterfeld „Spalte 160, Zeile 159“ gewählt.

Für die hydrotechnische Berechnung werden die 1-, 10-, 50- und 100-jährigen Bemessungsregen näher untersucht. Als Dauerstufe wird gemäß dem Leitfaden für Integrale Sturzflut und Hochwasserkonzepte eine Regendauer von $D= 60$ min gewählt.

Die verwendeten KOSTRA-Datenblätter sind in den Anlagen mit aufgeführt.

4.7 Grundwasser-/Bodenverhältnisse

Die örtlich vorliegenden Untergrundverhältnisse und deren Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte wurden am 25.04.2024 durch die Dr. G. Pedall Ingenieurbüro GmbH anhand von fünf Versickerungsversuchen in Baggerschürfen mit einer maximalen Tiefe von 2,7 m u. Geländeoberkante (GOK) im Bereich der Tiefpunkte entlang des Scheidebächleins ermittelt.

Aufgrund der „Zersatzböden der Amaltheenton-Formation als dunkelbraune bis dunkelgraue schluffige Tone“ (Dr. G. Pedall, 2024) konnte bei keinem der Sickerversuche eine messbare Absenkung des Referenzwasserstandes nachgewiesen werden.

Die örtlichen Tonschichten sind mit einem Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von $k_f < 10^{-9}$ m/s nahezu völlig wasserundurchlässig. Diese Durchlässigkeiten liegen außerhalb des technisch erforderlichen und zulässigen Bereiches von $k_f=10^{-3}$ m/s bis 10^{-5} m/s für gezielte Versickerungen.

Aufgrund der vorwiegend tonig, schluffigen Lagen der Bodenhorizonte wird keine regelkonforme Versickerung nach DWA A-138 möglich sein. Der Oberflächenabfluss bei Starkregen wird aufgrund der Gefällesituation und der Bodenverhältnisse direkt in die Gewässer abgeleitet.

Nähere Angaben und Nachweise zu den Sickerversuchen können Sie der Anlage 9 entnehmen.

5. Geplante Bebauung

Auf den im Kapitel 3 genannten Flurnummern soll ein Bürgersolarpark errichtet werden. Die Module werden reihenweise in einem Regelabstand von mindestens 2,5 m in Ständerbauweise mit einer Flächenprojektionsneigung von 18° angeordnet. Die Höhe der Module kann bis 3,2 m ü. GOK betragen. Der Oberboden, auch unterhalb der Module, wird bis auf notwendige Versorgungseinrichtungen, z.B. Transformatoren und Speicher, nicht weiter versiegelt sondern mit einer Magerrasensaatgutmischung zur extensiven Weidehaltung begrünt.

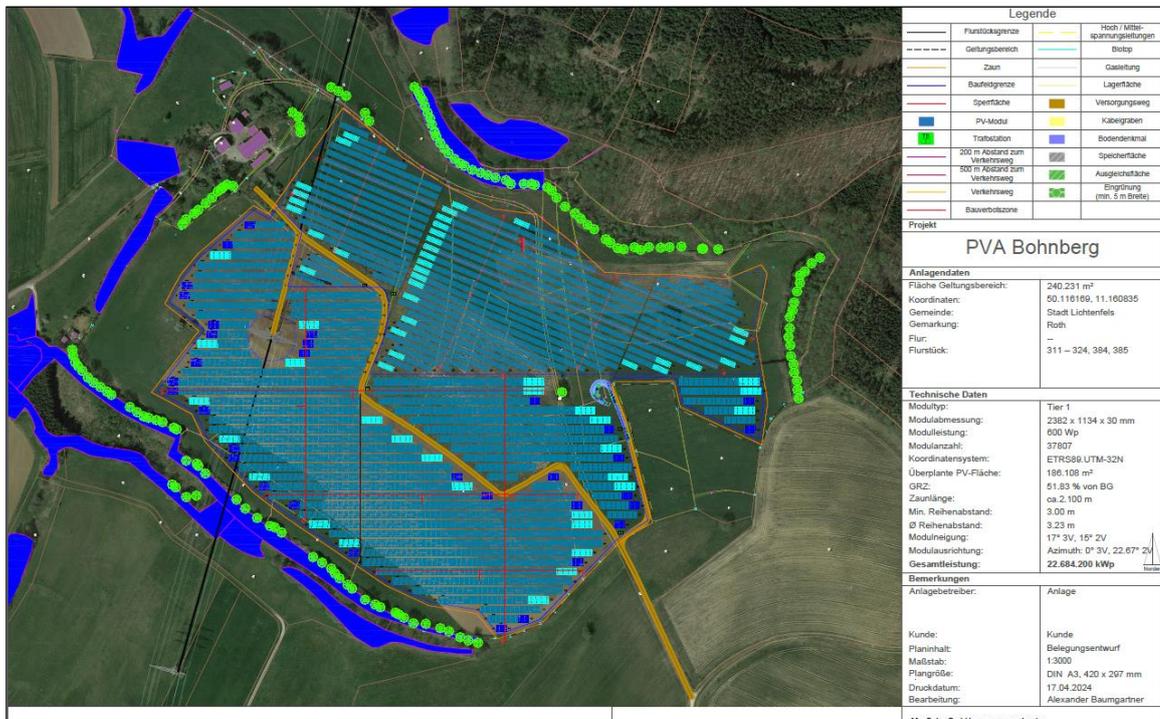


Abbildung 13: Modulenanordnung Stand 29.07.2024 (Quelle: MaxSolar GmbH)

Das natürliche Einzugsgebiet des Untersuchungsgebietes wird durch die Aufstellung der Photovoltaikanlagen verändert und in das vorherrschende Abflussgeschehen insbesondere in die Bildung der Abflusskonzentration eingegriffen.

Durch die vorgesehenen Nutzungen ändern sich die Flächenanteile des Gesamteinzugsgebietes wie in Tabelle 5 dargestellt.

Planung - Nutzungsart	Fläche [ha]	Flächenanteil [%]
Modulaufstellung und Trafos (vorher Grünland)	4,12	17,2
Modulaufstellung und Trafos (vorher Ackerland)	6,44	26,8
Grünland	12,34	51,4
Wald	0,12	0,5
Weg	0,65	2,7
Gehölz	0,31	1,3
Fläche gemischter Nutzung	0,03	0,1
Summe	24,02	100

Tabelle 5: Flächennutzungen und -anteile der Planung am Geltungsbereich

6. Hydraulische Nachweise

6.1 Fließweganalyse

Für die topographische Analyse erfolgt eine belastungsunabhängige GIS-Analyse, in der die topographischen Basisdaten als Laserscan-Daten in einem regelmäßig angeordneten Gitternetz von 1 m verwendet werden. Dieses digitale Geländemodell wird vom Bayerischen Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung zur Verfügung gestellt. Hierbei erhält man genaue Informationen über die Geländeoberfläche und eine Höhengenaugigkeit von +/- 0,2 m, diese jedoch variiert je nach Bewuchs des Geländes (höhere Genauigkeit bei ebenen Flächen mit niedrigem Bewuchs). Die GIS-Analyse als belastungsunabhängige Methode liefert systematische und automatisierte Fließwege, lokale Senken und Tiefpunkte.

Wird der Abfluss vollständig oder teilweise zurückgehalten so führt das Oberflächengefälle zu einem lokalen Tiefpunkt (Senke). Diese wiederum können als potenzielle Gefährdungsbereiche ausgewiesen werden. Konzentriert sich hingegen der Oberflächenabfluss z. B. aufgrund einer angrenzenden Gefälleausrichtung, bildet sich ein Fließweg. Die GIS-Analyse der Geländetopografie nach Fließwegen und Tiefpunkten erfolgt ohne gesonderte Berücksichtigung der Hydraulik und der Strukturen des Abwassernetzes. Durchlässe an Gewässern werden hingegen berücksichtigt. Gebäude werden als Hindernisse simuliert, d.h. es kann kein Fließpfad durch Gebäude hindurchgehen, sondern muss um das Gebäude herumfließen.

Somit ergeben sich für das Untersuchungsgebiet Einzugsgebiete mit einer Gesamtgröße von ca. 24,02 ha. Hierfür werden als Erstes die Fließwege aus dem DGM1 errechnet. Dabei werden den einzelnen 1 x 1 m Zellen aufgrund der darin befindlichen Höhenangaben mittels einer Abflussakkumulation eine kumulierte Gewichtung zugeordnet. Somit entsteht jeweils ein Zu- oder Abfluss aus jeder einzelnen Zelle. Daraus erfolgt eine Visualisierung unterschiedlich gewichteter Abflüsse.

Die Fließpfade des Ist-Zustandes sind in Anlage 2 im LP EZG mit einer Einzugsfläche jeden Fließpfades von 250 m² dargestellt.

6.2 Abflussbeiwertermittlung

Die Abflussbeiwertermittlung erfolgt mit dem Verfahren nach Lutz. Als Bodentyp wird Klasse D „Böden mit sehr geringem Versickerungsvermögen, Tonböden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Böden mit dauernd sehr hohem Grundwasserspiegel“ (Hydrologische Planungsgrundlagen, 2019) gewählt. Die Landnutzung wird nach tatsächlicher Nutzung ermittelt, siehe hierzu Kapitel 4.4.

Für geplante Solarparkanlagen oder größere Photovoltaikanlagen gibt es hinsichtlich wasserwirtschaftlicher Betrachtungen noch keine Regelwerke oder allgemein anerkannte Regeln der Technik bezüglich der Abflussbeschaffenheiten. Der Oberboden wird durch die Modultische kaum versiegelt, jedoch kann bei Regen- und Starkregenereignissen eine stärkere Abflusskonzentration oberhalb der Modulflächen stattfinden. Die Folge kann ein schießender Abfluss auf den Moduloberflächen sein, der mit stärkerer Intensität und verkürztem zeitlichen Verlauf auf die begrünten Freiflächen zwischen den Modulreihen auftritt und unterhalb der umliegenden Module auf der Grünfläche abfließt. Bodenerosionen können durch die stärkeren Schleppspannungen und Regenintensitäten als Folgen auftreten.

Die Ergebnisse der Abflussbeiwertermittlung der jeweiligen Teileinzugsgebiete sind in Anlage 5 aufgeführt. Es zeigt sich, dass durch das Etablieren der Module eine Erhöhung der Abflussbeiwerte aus dem Betrachtungsgebiet erfolgt (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15).

Des Weiteren ist der Abflussbeiwert von der Größe des Bemessungsregens abhängig. Je größer der Bemessungsregen, desto größer werden auch die Abflüsse auf der Fläche. Die Wirkung von Verlusten, z.B. Benetzung, Mulden oder Infiltration nehmen mit steigender Niederschlagsbelastung ab. Bei Anwendung auf natürlichen Flächen, wirkt sich dieser Effekt stärker aus, als auf versiegelten Flächen. Daher gleichen sich die Abflusswerte insofern mit der Größe des Bemessungsregens leicht an.

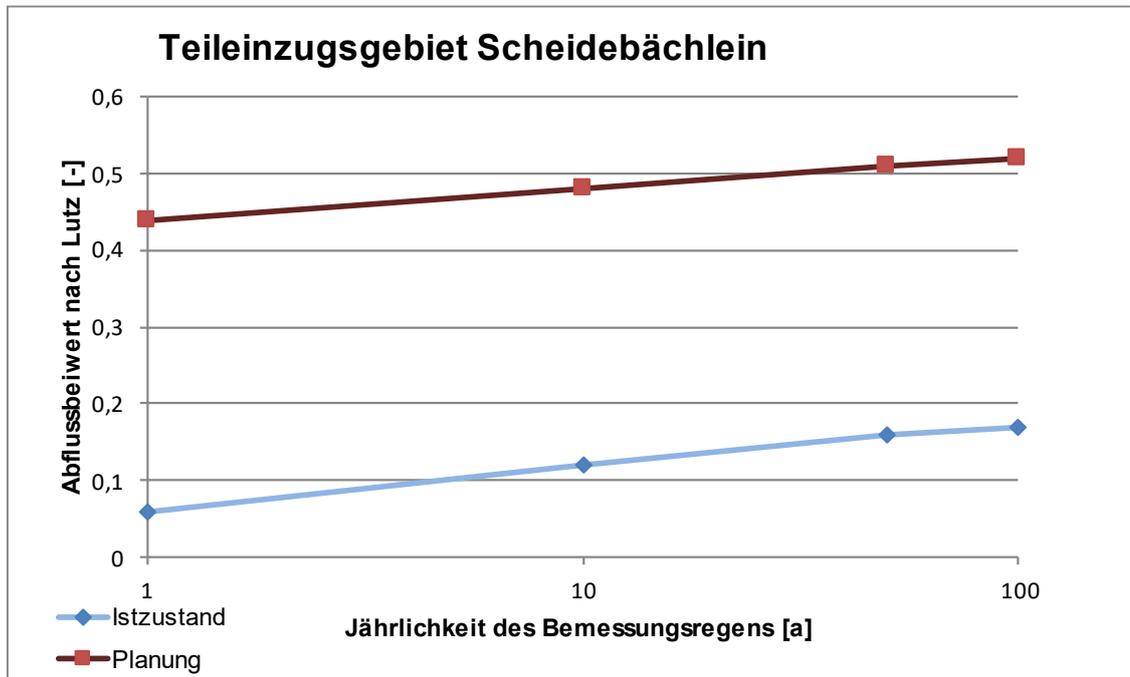


Abbildung 14: Abflussbeiwerte nach Lutz Bestand vs. Planung

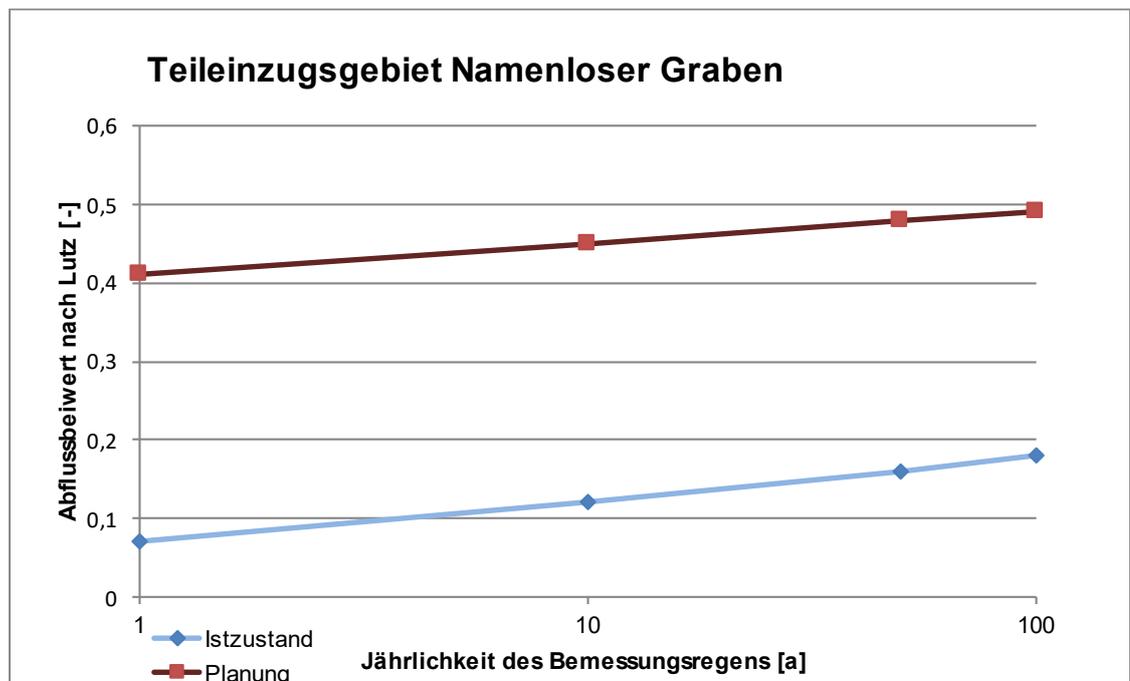


Abbildung 15: Abflussbeiwerte nach Lutz für das TEZG Namenloser Graben

6.3 Hydrotechnische Berechnung des Abflussvolumens

6.3.1 Teileinzugsgebiet Scheidebächlein

Bei der hydrotechnischen Berechnung werden die Abflussverhältnisse im Bestand mit dem Planungszustand verglichen. Als Bemessungsregen werden die 1-, 10-, 50- und 100- jährigen Ereignisse bei einer Regendauer von 60 Minuten verglichen (siehe Tabelle 6).

$r_{60\text{min},n=1,0/a}$	Fläche	Niederschlags- höhe	Niederschlags- spende	Abfluss- beiwert	Niederschlags- volumen	Differenz
	m ²	mm	l/s*ha	Ψ nach Lutz [-]	m ³	m ³
Istzustand	121.000	16,0	44,4	0,06	116,2	735,7
Planung	121.000	16,0	44,4	0,44	851,8	
$r_{60\text{min},n=0,1/a}$	Fläche	Niederschlags- höhe	Niederschlags- spende	Abfluss- beiwert	Niederschlags- volumen	Differenz
	m ²	mm	l/s*ha	Ψ nach Lutz	m ³	m ³
Istzustand	121.000	29,5	81,9	0,12	428,3	1.285,0
Planung	121.000	29,5	81,9	0,48	1.713,4	
$r_{60\text{min},n=0,02/a}$	Fläche	Niederschlags- höhe	Niederschlags- spende	Abfluss- beiwert	Niederschlags- volumen	Differenz
	m ²	mm	l/s*ha	Ψ nach Lutz	m ³	m ³
Istzustand	121.000	40,9	113,6	0,16	791,8	1.732,1
Planung	121.000	40,9	113,6	0,51	2.523,9	
$r_{60\text{min},n=0,01/a}$	Fläche	Niederschlags- höhe	Niederschlags- spende	Abfluss- beiwert	Niederschlags- volumen	Differenz
	m ²	mm	l/s*ha	Ψ nach Lutz	m ³	m ³
Istzustand	121.000	46,5	129,2	0,17	956,5	1.969,3
Planung	121.000	46,5	129,2	0,52	2.925,8	

Tabelle 6: Vergleich der Abflussvolumina im Teileinzugsgebiet Scheidebächlein bei einer Dauerstufe von 60 min

In der Spalte „Differenz“ sind die Volumendifferenzen für den jeweiligen Bemessungsregen angegeben. Es kommt bei einem 1-jährigen Bemessungsregen zu einer Differenz von 736 m³, bei einem 10-jährigen zu einer Differenz von 1.285 m³, bei einem 50-jährigen Bemessungsregen zu einer Differenz von 1.732,1 m³ und bei einem 100-jährigen Bemessungsregen zu einer Differenz von 1970 m³.

Für die weitere Planung ist das maximale Volumen von $V_{\text{max}} = 1.970 \text{ m}^3$ bei einem 100-jährigen Niederschlagsereignis zu berücksichtigen. Ein Drosselabfluss aus der Fläche wurde bei der Volumenermittlung nicht angesetzt. Es handelt sich daher um die maximalen Differenzen bzw. die Betrachtung des ungünstigsten Falls.

6.3.2 Teileinzugsgebiet Namenloser Graben

Bei der hydrotechnischen Berechnung werden die Abflussverhältnisse im Bestand mit dem Planungszustand verglichen. Als Bemessungsregen werden die 1-, 10-, 50- und 100-jährigen Ereignisse bei einer Regendauer von 60 Minuten verglichen.

$r_{60\text{min},n=1,0/a}$	Fläche	Niederschlags- höhe	Niederschlags- spende	Abfluss- beiwert	Niederschlags- volumen	Differenz
	m ²	mm	l/s*ha	Ψ nach Lutz [-]	m ³	m ³
Istzustand	119.200	16,0	44,4	0,07	133,5	648,4
Planung	119.200	16,0	44,4	0,41	782,0	
$r_{60\text{min},n=0,1/a}$	Fläche	Niederschlags- höhe	Niederschlags- spende	Abfluss- beiwert	Niederschlags- volumen	Differenz
	m ²	mm	l/s*ha	Ψ nach Lutz	m ³	m ³
Istzustand	119.200	29,5	81,9	0,12	422,0	1.160,4
Planung	119.200	29,5	81,9	0,45	1.582,4	
$r_{60\text{min},n=0,02/a}$	Fläche	Niederschlags- höhe	Niederschlags- spende	Abfluss- beiwert	Niederschlags- volumen	Differenz
	m ²	mm	l/s*ha	Ψ nach Lutz	m ³	m ³
Istzustand	119.200	40,9	113,6	0,16	780,0	1.560,1
Planung	119.200	40,9	113,6	0,48	2.340,1	
$r_{60\text{min},n=0,01/a}$	Fläche	Niederschlags- höhe	Niederschlags- spende	Abfluss- beiwert	Niederschlags- volumen	Differenz
	m ²	mm	l/s*ha	Ψ nach Lutz	m ³	m ³
Istzustand	119.200	46,5	129,2	0,18	997,7	1.718,3
Planung	119.200	46,5	129,2	0,49	2.716,0	

Tabelle 7: Vergleich der Abflussvolumina im Teileinzugsgebiet Scheidebächlein bei einer Dauerstufe von 60 min

In der Spalte „Differenz“ sind die Volumendifferenzen für den jeweiligen Bemessungsregen angegeben. Es kommt bei einem 1-jährigen Bemessungsregen zu einer Differenz von 648 m³, bei einem 10-jährigen zu einer Differenz von 1.160 m³, bei einem 50-jährigen Bemessungsregen zu einer Differenz von 1.560 m³ und bei einem 100-jährigen Bemessungsregen zu einer Differenz von 1.718 m³.

Für die weitere Planung ist das maximale Volumen von $V_{\text{max}} = 1.718 \text{ m}^3$ bei einem 100-jährigen Niederschlagsereignis zu berücksichtigen. Ein Drosselabfluss aus der Fläche wurde bei der Volumenermittlung nicht angesetzt. Es handelt sich daher um die maximalen Differenzen bzw. die Betrachtung des ungünstigsten Falls.

7. Entwässerungskonzept

7.1 Planung von Rückhaltemaßnahmen

Im Bereich des Solarparks ist eine gezielte technische Versickerung aufgrund der vorherrschenden vorrangig stark lehm- und schluffigen Bodenverhältnisse und der zum Teil starken Geländeneigungen nicht möglich. Die Bodenverhältnisse wurden durch örtliche Versickerungsversuche und bodengutachterliche Untersuchungen erkundet.

Das Oberflächenwasser soll daher über mehrere Maßnahmen zur Abflussretention gefasst und zeitverzögert den jeweiligen Gewässersystemen zugeführt werden.

Diese Maßnahmen sollen im Falle von Starkregenereignissen eine Abflussretention bedingen. Diese Retention soll einen zeitverzögerten Abfluss, d.h. ein „Kappen“ der Abflussspitze der Ganglinie des Oberflächenabflusses aus den Außeneinzugsgebieten zum Schutz der Gewässer und unterliegenden Bebauung erwirken.

Die vorgesehenen, möglichen Maßnahmen sind zur Übersicht:

- linienförmige Retentionsmulden im Teileinzugsgebiet Namenloser Graben und östlichen Bereich des Teileinzugsgebietes Scheidebächlein mit einer Tiefe von 0,5 bis 0,8 m, einer Breite von 0,8 m und Länge von ca. 5 bis max. 15 m unterhalb von Modultischen mit passender Ausrichtung entlang der Höhenlinien und versetzter Anordnung von Modulreihe zu Modulreihe
- Im Teileinzugsgebiet Scheidebächlein im Bereich der Ausgleichsflächen das Anlegen von 4 linienförmigen Auffangbecken mit Grundablässen mit einer Tiefe von 1,75 m und einem Wall von 0,5 m zum zusätzlichen Rückhalt
- Im westlichen Teileinzugsgebiet Scheidebächlein Retentionsmulden entlang der Höhenlinien (und nicht unterhalb der Modultische) mit analogen Abmessungen zum Teileinzugsgebiet Namenloser Graben

Die Maßnahmen sind in Anlage 5.1 und 5.2 konzeptionell dargestellt. Die Maßnahmen haben einen Konzeptstatus, eine Entwurfsplanung ist noch nicht erfolgt.

7.2 Teileinzugsgebiet Namenloser Graben

Im Teileinzugsgebiet Namenloser Graben sind die PV-Modultische mit einer günstigen Ausrichtung entlang der Bestandshöhenlinien am Hang ausgerichtet. Aufgrund der Geländeneigung zwischen 9 - 19 % und der Längsneigungen entlang der Höhenlinien lassen sich in diesem Bereich wirksam linienförmige Retentionsmulden unterhalb der Modultische etablieren.

Das abfließende Oberflächenwasser soll sich in den künstlichen, linienförmigen Mulden sammeln und kurzfristig zurückgehalten werden. Hierzu sind unterhalb der jeweiligen Modulreihe auf einer Breite von 0,8 m und einer Länge von ca. 5 bis maximal 15 m auf einer Tiefe von durchschnittlich 0,5 m Mulden auszuheben. Das Aushubmaterial wird dann flächig zwischen den Modulreihen verteilt. Zwischen den einzelnen Linienmulden sind Unterbrechungen von mind. 1,5 m vorzusehen.

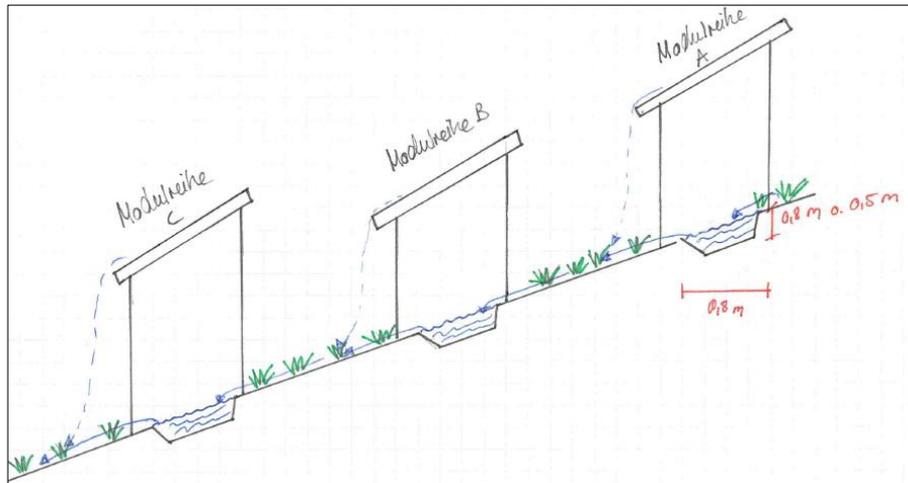


Abbildung 16: maßstablose Prinzipskizze Schnitt durch Modulreihen

Dieses Prinzip ist von Modulreihe zu Modulreihe in versetzter Anordnung auszuführen, sodass sich ein kaskadenartiges Abflussgeschehen etabliert. Ein mögliches Beispiel der Modellierung ist in Abbildung 17 zu sehen.

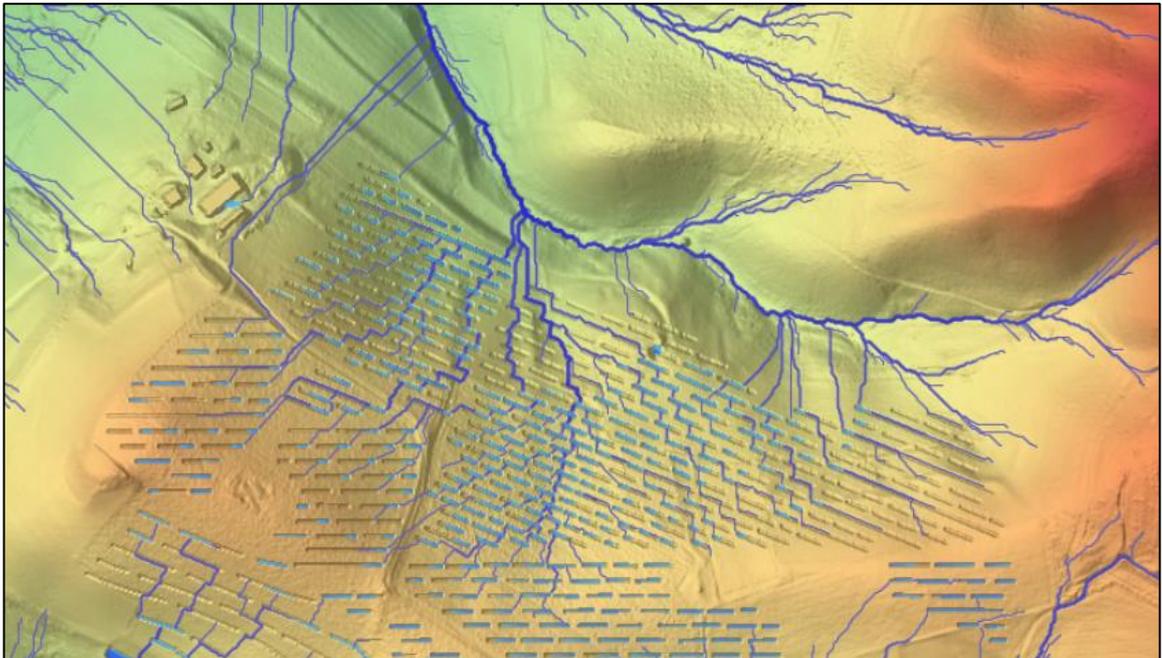


Abbildung 17: Darstellung eines möglichen Kaskadenabflusses der Retentionsmulden

7.3.1 Auffangbecken Südhang

Zur Schaffung von Rückhaltevolumen bietet sich im Teileinzugsgebiet Scheidebächlein aufgrund der Geländestrukturen am Südhang nur ein Rückhalt innerhalb der Ausgleichsflächen an. In diesem Bereich wird das Hangwasser in 4 linienförmigen, bewachsenen Auffangbecken in Erdbauweise mit zusätzlichen Wall zum Aufstau abgefangen und zwischengespeichert.

Die Becken sind an den jeweilig passenden Höhenlinien des Südhangs ausgerichtet. Das Becken 1 umschließt die Höhenlinie 351 m NHN, das Becken 2 die Höhenlinie 353 m NHN, Becken 3 die Höhenlinie 356 m NHN und das Becken 4 die Höhenlinie 358 m NHN.

Becken 1:

Für das Becken 1 wird eine Länge von ca. 128 m vorgesehen mit einer Vertiefung auf ca. 349,6 m NHN, also einem entsprechenden Geländeabtrag von ca. 1,5 m unter Geländeoberkante. Als Beckengesamtbreite werden in Summe 7 m vorgeschlagen. Hierbei sollten ca. 4 m als reine Stauffläche ohne Böschungsanteile vorgesehen werden. Die jeweiligen Böschungen müssen vor Ort nach vorliegender Geländestruktur und Raumverfügbarkeit angepasst werden. Im Westen und Osten der Becken sollten Rampen für die Passierbarkeit von Klein- und Wildtieren vorgesehen werden.

Südlich des Auffangbeckens erfolgt mit dem Aushubmaterial der Becken eine Aufwallung von insgesamt 0,6 m Höhe und einer Mindestbreite von 1,5 m. Im Schnitt wird hierbei eine Geländehöhe von 350,70 m NHN erreicht. Auch hier sollte nach örtlicher Gegebenheit eine Anpassung der südlichen Wallböschung an das umliegende Gelände erfolgen.

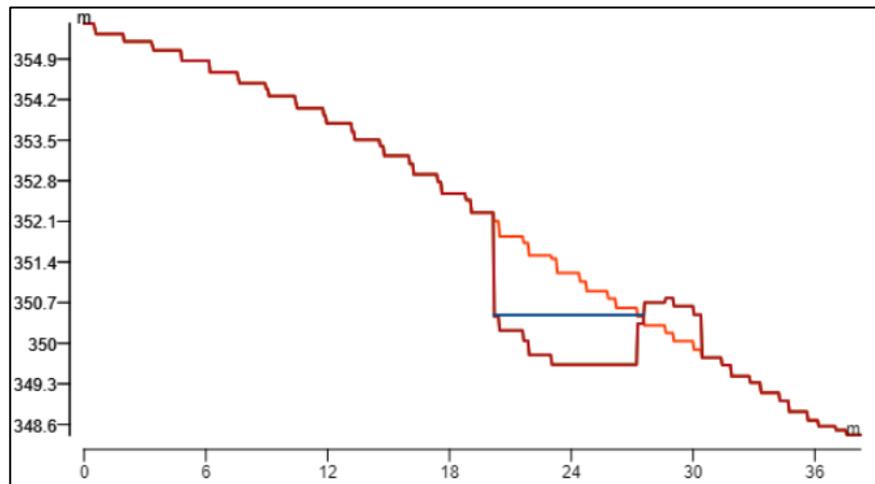


Abbildung 18: Systemschnitt Nord-Süd Auffangbecken 1
(orange: Geländehöhe Bestand/ rot: Geländehöhe Planung/ blau: Einstaubereich)

Um einen Grundablass der Auffangbecken zu gewährleisten, müssen zusätzlich 2 bis 3 DN 200 Rohre ausgehend von der Beckensohle mit einem Mindestgefälle von 0,005 % durch den Wall bis zum freien Abfluss auf dem natürlichen Gelände herausgeführt werden. So können die abgefangenen Niederschlagsmengen erneut breitflächig über die verbleibenden Grünstreifen und Gewässerrandstreifen dem Scheidebächlein zufließen. Dennoch verbleibendes Niederschlagswasser kann über Transpiration und sehr langsame Infiltration dem lokalen Wasserkreislauf zugeführt werden.

Becken 2

Der Aufbau des Becken 2 erfolgt im Prinzip dem Systemschnitt des Becken 2 mit angepassten Abmessungen. Die Länge des Beckens beträgt ca. 92 m, die ungeböschte Breite 4 m, mit Böschung ca. 7 m. Vorgesehen wird ein Geländeabtrag um 1,5 m auf ein Geländeniveau von 351,3 m NHN. Die südliche Verwallung umfasst eine Höhe von 0,6 m (ca. 353 m NHN) und eine Breite von 1,5 m. Um einen Grundablass der Auffangbecken zu gewährleisten, müssen zusätzlich 2 bis 3 DN 200 Rohre ausgehend von der Beckensohle mit einem Mindestgefälle von 0,005 % durch den Wall bis zum freien Abfluss auf dem natürlichen Gelände herausgeführt werden.

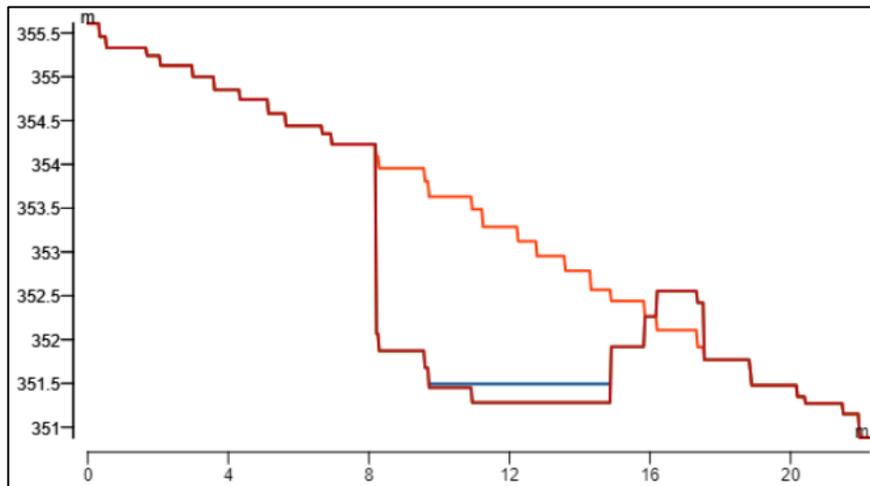


Abbildung 19: Systemschnitt Nord-Süd Auffangbecken 2
(orange: Bestandsniveau/ rot: Planungsniveau/ blau: Rückhalteraum)

Becken 3:

Der Aufbau des Becken 3 erfolgt im Prinzip dem Systemschnitt des Becken 2 mit angepassten Abmessungen. Die Länge des Beckens beträgt ca. 87 m, die ungeböschte Breite 4 m, mit Böschung ca. 7 m. Vorgesehen wird ein Geländeabtrag um 1,5 m auf ein Geländeniveau von 354,4 m NHN. Die südliche Verwallung umfasst eine Höhe von 0,6 m (ca. 356 m NHN) und eine Breite von 1,5 m. Um einen Grundablass der Auffangbecken zu gewährleisten, müssen zusätzlich 2 bis 3 DN 200 Rohre ausgehend von der Beckensohle mit einem Mindestgefälle von 0,005 % durch den Wall bis zum freien Abfluss auf dem natürlichen Gelände herausgeführt werden.

Becken 4:

Auch Becken 4 erfolgt im Prinzip dem Systemschnitt des Becken 2 mit angepassten Abmessungen. Die Länge des Beckens beträgt ca. 70 m, die ungeböschte Breite 4 m, mit Böschung ca. 7 m. Vorgesehen wird ein Geländeabtrag um 1,5 m auf ein Geländeniveau von 356,5 m NHN. Die südliche Verwallung umfasst eine Höhe von 0,6 m (ca. 358,5 m NHN) und eine Breite von 1,5 m. Um einen Grundablass der Auffangbecken zu gewährleisten, müssen zusätzlich 2 bis 3 DN 200 Rohre ausgehend von der Beckensohle mit einem Mindestgefälle von 0,005 % durch den Wall bis zum freien Abfluss auf dem natürlichen Gelände herausgeführt werden.

7.3.2 Retentionsmulden

Analog zum Teileinzugsgebiet des Namenlosen Grabens wird im süd-östlichen Baufeld ebenfalls das abfließende Oberflächenwasser in künstlichen, linienförmigen Mulden unterhalb der Modulreihen gesammelt und kurzfristig zurückgehalten. Im süd-westlichen Bereich des Südhangs sollten die linienförmigen Mulden entlang der Geländehöhenlinien des Reliefs, also i.d.R. quer zu den ausgerichteten Modulen verlaufen (siehe Abbildung 20). Hierbei werden die begrünten Zwischenreihen der Modulreihen gequert.

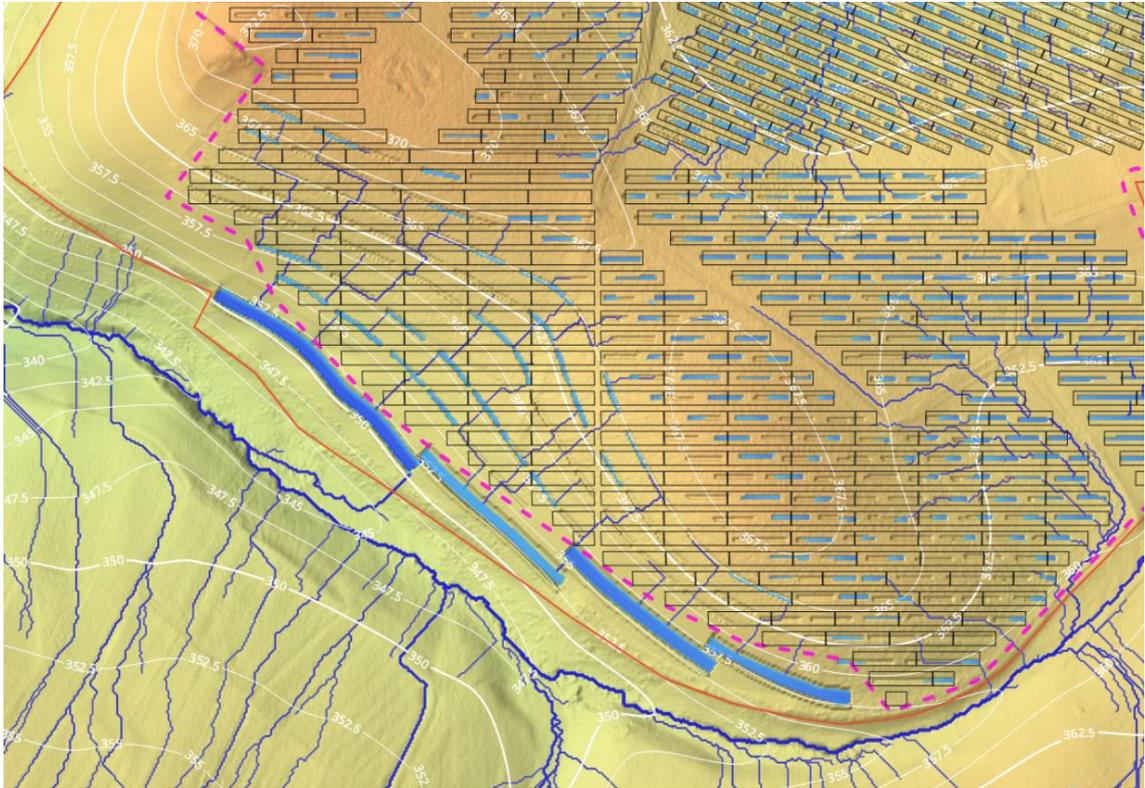


Abbildung 20: linienförmige Mulden am Südhang und Ausrichtung entlang der Geländehöhenlinien

Unterhalb der jeweiligen Modulreihe sind hierzu auf einer Breite von 0,8 m und einer Länge von ca. 5 bis maximal 15 m auf einer Tiefe von durchschnittlich 0,5 m Mulden auszuheben. Das Aushubmaterial wird dann flächig zwischen den Modulreihen verteilt. Zwischen den einzelnen Linienmulden sind Unterbrechungen von mind. 1,5 m vorzusehen.

Dieses Prinzip ist von Modulreihe zu Modulreihe in versetzter Anordnung auszuführen, sodass sich ein kaskadenartiges Abflussgeschehen etabliert.

Die vorweg genannten Maßnahmen weisen folgendes Rückhaltepotential auf:

Maßnahme	Höhe des Geländeabtrags	Einstaufläche	Walloberkante	Wirksames Einstauvolumen
	m	m ²	m NHN	m ³
Retentionsmulden unter PV-Modultischen im TEZG Namenloser Graben	~ 0,5 – 0,8	7.150	-	1.487
Retentionsmulden unter und quer zu PV-Modultischen TEZG Scheidebächlein	~ 0,5	7.897	-	646
Linienförmige Auffangbecken am südlichen Hang	~ 1,5	2.417	1.) 350,70 2.) 353,00 3.) 356,00 4.) 358,50	1.148
Gesamtrückhaltevolumen [m ³]	1.794			

Tabelle 8: Rückhaltepotential der Maßnahmen

Somit können mit Hilfe der Maßnahmen im TEZG Namenloser Graben ca. 87 % des berechneten Rückhaltevolumens eines 100-jährigen Niederschlagsereignisses aufgefangen und zeitverzögert wieder abgegeben werden. Die noch fehlenden 231 m³ können bei Bedarf durch weitere Anpassungen im Bereich der nördlichen Ausgleichsflächen, z.B. durch Ausbildung von weiteren Geländesenken mit Grundablässen mit Wallabfangung (ca. 1 m) zur Ab-/Zuleitung, errichtet werden. Da dies allerdings das Zuleiten der Oberflächenabwässer an max. 1 – 2 Einleitstellen in das Gewässer Namenloser Graben bedingt, raten wir dazu, das flächige, freie Abflussgeschehen im Bereich der nördlichen Ausgleichsflächen beizubehalten, um eine gleichmäßigere Verteilung der Zuläufe zum Gewässer zu gewährleisten und nur im Bedarfsfall eine zusätzliche Anpassung vorzunehmen.

Im TEZG Scheidebächlein können mithilfe der Maßnahmen bis zu 91% des berechneten Rückhaltevolumens eines 100-jährigen Niederschlagsereignisses aufgefangen und zeitverzögert wieder abgegeben werden. Die noch fehlenden 176 m³ können allerdings aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse im Südhang und dessen Abflussregime nicht nachträglich ergänzt und auch nicht in näherer Umgebung sinnvoll hinzugefügt werden, ohne in das großräumige Abflussregime des Gewässersystem des Scheidebächleins einzugreifen. Auch ein weiteres Vertiefen der linienförmigen Auffangbecken ist aufgrund des notwendigen Flächenanspruchs der Böschungsneigungen, Abständen zu Zaun- und Baufeldgrenze und Falltiefen für Wildlebewesen nicht zu verwirklichen.

Es sollte dennoch berücksichtigt werden, dass der Großteil des erforderlichen Rückhaltevolumens mit den genannten Maßnahmen umgesetzt werden kann. Es werden mindestens die Differenzvolumina des 50-jährigen Niederschlagsereignisses sicher zurückgehalten.

8. Zusammenfassung und Fazit

Die hydrotechnischen Berechnungen und Untersuchungen ergaben, dass sich durch die Umnutzung der Flächen im vorgesehenen Bebauungsplan zum Bürgersolarpark Bohnberg Änderungen im natürlichen Abflussgeschehen der Teileinzugsgebiete des Gewässersystem des Scheidebächleins und des Namenlosen Grabens ergeben. Durch das Aufstellen der Photovoltaikmodultische erfolgt oberhalb der Modulflächen eine stärkere Abflusskonzentration, die zu einer Verschärfung im zeitlichen Abflussgeschehen beiträgt. Der Anteil an bewachsener Fläche, die für die Oberflächenabflussprozesse zur Verfügung stehen bleibt aufgrund der aufgeständerten Bauweise der Module aber erhalten. So bleiben die Anteile an Benetzungsverlusten und Flächenbefeuchtung im Abflussgeschehen gleichwertig zum Bestand.

Bereits das natürliche Abflussgeschehen weist aufgrund der starken Hangneigungen eine relevante zeitliche Abflusskomponente auf, die durch die Modultischelemente eine bedingte Verschärfung erfährt und somit negative Auswirkungen auf die Abflussganglinien der Gewässersysteme aufweist. Der natürliche Abflussbeiwert der Einzugsgebiete wird durch die Bebauung erhöht. Es sind Maßnahmen zum Rückhalt der auftretenden Niederschlagsmengen, insbesondere bei selteneren und Starkregenereignissen vorzusehen. Als bemessungsrelevant ist hierbei ein Regenerereignis mit einer statistischen Wiederkehrzeit von 100 Jahren.

In den Berechnungen zum erforderlichen Rückhaltevolumen bei einem 100-jährigen Niederschlagsereignisses wird für das Teileinzugsgebiet Namenloser Graben aufgrund der Änderungen in der Flächennutzung ein Rückhaltevolumen von 1.718 m³ empfohlen. Für das Teileinzugsgebiet des Scheidebächleins werden 1.970 m³ an Rückhalt erforderlich.

Um den nachteiligen Veränderungen entgegenzuwirken, werden Maßnahmen zum lokalen Rückhalt in der Fläche und zur Anreicherung des örtlichen Landschaftswasserhaushalts vorgeschlagen. Möglich sind linienförmige Retentionsmulden unterhalb der Modultische in versetzter Anordnung sowie Auffangbecken in Erdbauweise mit Grundablässen. Mit diesen Maßnahmen können bereits 91 % des erforderlichen Rückhaltevolumens im Teileinzugsgebiet des Scheidebächleins sowie 87 % im Teileinzugsgebiet des Namenlosen Grabens bei einem 100-jährigen Niederschlagsereignisses zurückgehalten und zeitverzögert abgegeben werden.

Ein vollständiger Rückhalt innerhalb der Grenzen des Geltungsbereiches des Bebauungsplanes ist aufgrund der örtlichen Platzverhältnisse und Geländestrukturen nicht möglich. Eine gezielte, technische Versickerung über Versickerungsanlagen ist aufgrund der sehr schwach durchlässigen und damit schlecht sickerfähigen Böden nicht möglich.

Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen werden sich im Vergleich zum jetzigen Bestand im Abflussgeschehen deutliche Verbesserungen im lokalen Wasserhaushalt ergeben, da bisher die Niederschläge ohne jegliche Abflussretention aufgrund der starken Hangneigung zum Gewässer gelangen. Durch die aufgezeigten Maßnahmen wird ein lokaler Rückhalt mit langsamer Infiltration und erhöhter Transpiration begünstigt. Zudem erfolgt durch die Maßnahmen eine Dämpfung der Hochwasserabflussgangspitzen in den jeweiligen Gewässersystemen, bereits schon bei häufiger auftretenden Ereignissen. Bei einem statistischen Niederschlagsereignis von 50 Jahren wird ein Rückhalt der Differenzvolumina zum Bestand gewährleistet. Als positiv zu benennen ist ebenfalls die Verringerung von auftretender Bodenerosion durch die Extensivierung der Ackerflächen sowie Begrenzung der Fließgeschwindigkeiten und Schleppspannungen durch das kaskadenartige Abfließen in den Retentionsmulden.

Unter Ausführung der aufgezeigten Konzeptionierungen zum Rückhalt von Niederschlagswasser kann eine deutliche Verbesserung im lokalen Abflussgeschehen erwirkt werden, sodass einer Verwirklichung der Baumaßnahmen keine zwingenden Versagensgründe aus hydrotechnischer Sicht entgegenstehen.

9. Literatur- und Quellenverzeichnis

- Bayerische Vermessungsverwaltung. (2024). © Datenquellen: Bayerische Vermessungsverwaltung, GeoBasis-DE / BKG 2023 - Daten verändert.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). (2019). *Loseblattsammlung "Hydrologische Planungsgrundlagen"*. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU).
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (Juni - September 2024). *UmweltAtlas*. Von UmweltAtlas: <https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/umweltatlas/index.html?lang=de> abgerufen
- Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat. (2024). *BayernAtlas*. Von BayernAtlas: <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?lang=de&topic=ba&bgLayer=atkis&catalogNodes=11&E=674663.38&N=5468757.46&zoom=3> abgerufen
- Dr. G. Pedall Ingenieurbüro GmbH. (2024). *Errichtung einer Photovoltaik-Anlage am Weiler Bohnberg - Versickerungsversuche für das genannte Bauvorhaben vom 15.05.2024*. Bayreuth.
- maxsolar energy concepts (2024); *Belegungsplan PVA Bohnberg*, Stand 29.07.2024
- ivs GmbH - ingenieurbüro für bauwesen (2024); *Entwurf Aufstellung eines vorhabenbezogenen Bebauungsplanes für das Gebiet "RaiBa Bürgersolarpark Bohnberg"*, Stand 11.12.2023

Vorhabensträger:

Ort, Datum

Raiffeisenbank Küps Mitwitz

Berichtsverfasser:

Nürnberg, 13.09.2024
Ort, Datum



Steffen Gaul
(Geschäftsführer)
GAUL INGENIEURE GmbH



Isabell Michel, B. Eng. Wassertechnologie
(Projektleiterin)
GAUL INGENIEURE GmbH