

boden:ständig-Projekt Igelsbachsee

Bestands- und Bewertungsplan mit Maßnahmenvorschlägen zur Reduzierung des Phosphoreintrags

Auftraggeber: Amt für Ländliche Entwicklung Unterfranken
Philipp-Zorn-Straße 37
91522 Ansbach

Auftragnehmer: GeoTeam Gesellschaft für umweltgerechte
Land- und Wasserwirtschaft mbH
Wilhelmsplatz 7
95444 Bayreuth

Bayreuth, 08. September 2019

R. Wesinger
Dipl. Geoökologe
Geschäftsführung

D. Maurer
Dipl. Geoökologe

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Ziel	6
2	Grundlagen.....	7
2.1	Das Projektgebiet.....	7
2.1.1	Der Igelsbachsee	7
2.1.2	Das Igelsbachsee-Einzugsgebiet.....	7
2.1.3	Geologie und Hydrogeologie	9
2.1.4	Böden	11
2.1.5	Klimatische Situation.....	12
2.2	Gewässer des Einzugsgebiets.....	14
2.2.1	Igelsbachsee und Vorsperre	14
2.2.2	Zuflüsse des Igelsbachsees.....	15
2.3	Erosionsgefährdung der Böden	15
2.3.1	Niederschlag / Oberflächenabfluss	16
2.3.2	Bodeneigenschaften	16
2.3.3	Hangneigung und Hanglänge	16
2.3.4	Bewirtschaftung	16
3	Methodik	18
3.1	Kartierung/Kartenerstellung	18
3.2	Witterung	18
3.3	Ableitung der nutzbaren Feldkapazität aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung	19
3.4	Bodenerosion – Ermittlung nach ABAG interaktiv.....	19
3.5	Nährstoffkonzentrationen und Abfluss	20
4	Untersuchungsergebnisse und Auswertung vorhandener Daten.....	21
4.1	Igelsbachsee und Vorsperre	21
4.1.1	Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen in der Vor- und Hauptsperre	21

4.1.2	Zusammenfassung - Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen von 1987 bis 2018 und Auswirkung auf das Phytoplankon.....	25
4.1.3	Funktion und Wirkung der Igelsbachsee-Vorsperre	26
4.2	Zuflüsse des Igelsbachsees.....	26
4.2.1	Nährstoffeinträge durch die Zuflüsse	26
4.2.2	Nähere Betrachtung der Igelsbachsee-Zuflüsse und deren Teileinzugsgebieten	28
4.3	Detaillierte Darstellung von Niederschlags-, Abflussmenge und der Nährstofffrachten des Igelsbachs bei ausgewählten Einzelereignissen.....	34
4.3.1	Winterereignis	34
4.4	Erosionsgefährdung der Böden	39
5	Bewertung	41
5.1	P-Eintrag aus nicht landwirtschaftlichen Quellen	41
5.2	P-Eintrag aus Drainagen.....	42
5.3	P-Eintrag aus Ackerflächen	44
6	Maßnahmen.....	45
7	Literatur- und Quellenverzeichnis	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Fläche und Volumen des Igelsbachsees und dessen Vorsperre.....	7
Tabelle 2:	Nutzungsformen und Flächenanteile im Einzugsgebiet des Igelsbachsees	8
Tabelle 3:	Zusammenfassung der Bodenarten, -zahlen und daraus abgeleiteten nutzbaren Feldkapazitäten für des Gebiet Mittelberg/Vorderberg nördlich von Igelsbach	12
Tabelle 4:	Zusammenfassung der Bodenarten, -zahlen und daraus abgeleiteten nutzbaren Feldkapazitäten des Gebiets Lerchenbuck südöstlich von Igelsbach.....	12
Tabelle 5:	Verwendete Kartengrundlagen.....	18

Tabelle 6:	Verwendete Wetterstationen	18
Tabelle 7:	Gesamtnährstofffrachten der Igelsbachseezuläufe in den Jahren 2012 bis 2014 (nach WWA Ansbach, 2015).....	27
Tabelle 8:	Fläche, Flächenanteil und Nutzungsverteilung der Teileinzugsgebiete der 5 Hauptzuflüsse des Igelsbachsees	31
Tabelle 9:	Anteil der Igelsbachseezuflüsse am Gesamtabfluss und an den Gesamt- und ortho-Phosphat-P-Frachten (teilweise nach Daten WWA Ansbach)	31
Tabelle 10:	Berechneter Bodenabtrag und Toleranzüberschreitung des Bodenabtrags der Ackerflächen des Igelsbachsee-Einzugsgebiets unterteilt nach Bodenabtragsklassen	40
Tabelle 11:	Auflistung der möglichen Maßnahmen	46

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Nutzungsverteilung der unterschiedlichen Teileinzugsgebiete des Igelsbachsees und der Vorsperre	8
Abbildung 2:	Geologie des Projektgebiets; Ausschnitt aus: Geologische Karte von Bayern, Kartenblatt 6831 Spalt, München 1971	9
Abbildung 3:	Übersichtsdarstellung der Grundwasserhöhengleichen im Sandsteinkeuper auf Blatt Spalt; Beilage 1 aus den Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000 Blatt Nr.6831 Spalt, München 1971.....	10
Abbildung 4:	Lage der Gebiete um Igelsbach, für aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung die nutzbare Feldkapazitäten der Ackerflächen abgeleitet wurde	11
Abbildung 5:	Entwicklung der jährlichen Niederschlagsmenge von 1931 bis 2018 (gemittelt aus Einzeldaten der Messstationen Georgensgmünd, Haundorf-Obererl bach und Pleinfeld)	13
Abbildung 6:	Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen von 1990 bis 2018 (gemittelt aus Einzeldaten der Messstationen Windsfeld, Obersteinbach und Triesdorf).....	14

Abbildung 7: Entwicklung der Gesamtposphorkonzentration an der Oberfläche der Vor- und Hauptsperre des Igelsbachsees in den Jahren 1987 bis 2018.....	22
Abbildung 8: Entwicklung der ortho-Phosphatkonzentration an der Oberfläche der Vor- und Hauptsperre des Igelsbachsees in den Jahren 1987 bis 2018.....	22
Abbildung 9: Entwicklung der Ammoniumkonzentration an der Oberfläche der Vor- und Hauptsperre des Igelsbachsees in den Jahren 1987 bis 2018	24
Abbildung 10: Entwicklung der Nitratkonzentration an der Oberfläche der Vor- und Hauptsperre des Igelsbachsees in den Jahren 1987 bis 2018	25
Abbildung 11: Wald- und Drainageflächenanteil der Bacheinzugsgebiete an der Gesamtfläche der Bacheinzugsgebiete des Igelsbachsees im Vergleich zum jeweiligen ortho-Phosphat-Anteil	32
Abbildung 12: Beziehung zwischen Niederschlag, Abfluss und Gesamtposphorkonzentration des Igelsbachs am 19./20.01.2012	35
Abbildung 13: Beziehung zwischen Niederschlag, Abfluss und Gesamtposphorkonzentration des Igelsbachs am 21./22./23.01.2012	36
Abbildung 14: Beziehung zwischen Niederschlag, Abfluss und Gesamtposphorkonzentration des Igelsbachs am 10./11.06.2013	37
Abbildung 15: Beziehung zwischen Niederschlag, Abfluss und ortho-Phosphatkonzentration des Igelsbachs am 10./11.06.2013	38
Abbildung 16: Phosphoraustrag nach Starkregen unter Grünland	43

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Übersichtskarte
 Maßstab 1 : 20 000
- Anlage 2a: Mittlerer langjähriger Bodenabtrag nach ABAG interaktiv
 Maßstab 1 : 20 000
- Anlage 2b: Toleranzüberschreitung des berechneten Bodenabtrags nach ABAG
 interaktiv
 Maßstab 1 : 20 000
- Anlage 2c: Berechneter Bodenabtrag von Flächen mit Anschluss an das Ab-
 flussnetz
 Maßstab 1 : 20 000
- Anlage 3: Bestands- und Bewertungsplan
 Maßstab 1 : 10 000
- Anlage 4: Maßnahmenplan
 Maßstab 1 : 10 000
- Anlage 5: Maßnahmenblätter

1 Anlass und Ziel

Das Fränkische Seenland ist ein sehr beliebtes Urlaubsziel. Die künstlich angestauten Seen stellen durch ihre harmonische Lage in der fränkischen Landschaft eine ideale Grundlage für Aktivitäten und Erholung am Wasser dar. Der Igelsbachsee nimmt dabei als Seitenarm des Brombachsees zwar nur einen relativ überschaubaren Flächenanteil ein, aber er verfügt dennoch über einen hohen touristischen Wert. Die Nutzung des Sees als Badegewässer wurde jedoch in der Vergangenheit durch Algenblüten immer wieder beeinträchtigt.

Als Ursache hierfür gilt die zunehmende Eutrophierung des Gewässers durch hohe Nährstoffeinträge aus dessen Einzugsgebiet. Hier nimmt vor allem der Nährstoff Phosphor eine entscheidende Rolle ein, da er den ausschlaggebenden Faktor für die zunehmenden Algenblüten darstellt.

Ziel des Bestands- und Bewertungsplanes ist, den Weg von Nährstoffen aus der Fläche in die Gewässer des Einzugsgebiets des Igelsbachsees zu erkunden und zu analysieren. Ausgehend von der Kartierung der oberirdischen Abflusswege und der Auswertung der zur Verfügung gestellten Daten und Informationen sollen zunächst diejenigen Flächen erfasst und bewertet werden, die wesentlich zum Nährstoffeintrag in die Gewässer und somit zu deren Belastung beitragen. Abschließend wurden für die hervorgetretenen strukturellen „Brennpunkte“, bei denen Handlungsbedarf besteht, ein Maßnahmenplan erstellt sowie konkrete Maßnahmenvorschläge erarbeitet, detailliert dargestellt und beschrieben.

2 Grundlagen

2.1 Das Projektgebiet

2.1.1 Der Igelsbachsee

Der Igelsbachsee liegt im Regierungsbezirk Mittelfranken etwa 40 km südwestlich von Nürnberg im Fränkischen Seenland. Er liegt auf der Grenze zwischen den beiden Gemeinden Absberg und Spalt, dadurch durchzieht ihn auch die Landkreisgrenze zwischen dem Landkreis Weißenburg-Gunzenhausen und dem Landkreis Roth. Er ist eine der beiden Vorsperren des Großen Brombachsees. Seine Bauzeit erstreckte sich von 1979 bis zu seiner Inbetriebnahme 1985 (Krauß, 2008). Er ist in die Igelsbachsee-Vorsperre und die Igelsbachsee-Hauptsperre unterteilt. Mit einer Seeoberfläche von 0,87 km² und dem dazugehörigen Volumen von 4,4 Mio. m³ (Vorsperre 0,28 Mio. m³; Hauptsperre 4,12 Mio. m³) bei Stauziel (411 m ü. NN) ergibt sich eine mittlere Seetiefe von 5,06 m und eine maximale Tiefe von 11,5 m (vgl. Tab. 1). Der Hochwasserrückhalteraum beträgt 0,9 Mio. m³. Wird dieser Raum voll ausgenutzt ergibt sich ein höchstes Stauziel von 412,0 m ü. NN und ein Gesamtvolumen von 5,3 Mio. m³ (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 2000).

Tabelle 1: *Fläche und Volumen des Igelsbachsees und dessen Vorsperre*

	Fläche [km ²]	Volumen [Mio. m ³]
See	0,80	4,12
Vorsperre	0,07	0,28
gesamter See	0,87	4,40

2.1.2 Das Igelsbachsee-Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet des Igelsbachsees umfasst eine Fläche von lediglich 14,2 km² und erstreckt sich über die Gemeinden Absberg, Haundorf und Spalt. Etwa 50% der Gesamtfläche werden als Acker oder Dauergrünland landwirtschaftlich genutzt (Acker 27% bzw. Dauergrünland 22% der Gesamtfläche, vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: *Nutzungsformen und Flächenanteile im Einzugsgebiet des Igelbachsees*

Nutzung	Fläche [ha]	Anteil der Gesamtfläche
Wald	550	39%
Acker	389	27%
Dauergrünland	313	22%
Siedlung und Verkehr	119	8%
sonstige Nutzung	47	3%

Das gesamte Einzugsgebiet des Igelbachsees kann in mehrere Teileinzugsgebiete unterteilt werden. Grundsätzlich kann zwischen Einzugsgebieten, die entweder in die Vorsperre oder den eigentlichen Igelbachsee (direkt oder über Bäche) entwässern, unterschieden werden. Diese verschiedenen Teileinzugsgebiete unterscheiden sich teils sehr stark in ihrer Nutzungsverteilung. Die Teileinzugsgebiete, die über Bäche in den See entwässern, haben annähernd gleiche Anteile an Wald, Acker und Dauergrünland. Dem gegenüber weisen die Einzugsgebiete, die über Bäche ihr Wasser in die Vorsperre einleiten, eine deutliche Abnahme der Flächenanteile von Wald zu Acker zu Dauergrünland auf (vgl. Abb. 1).

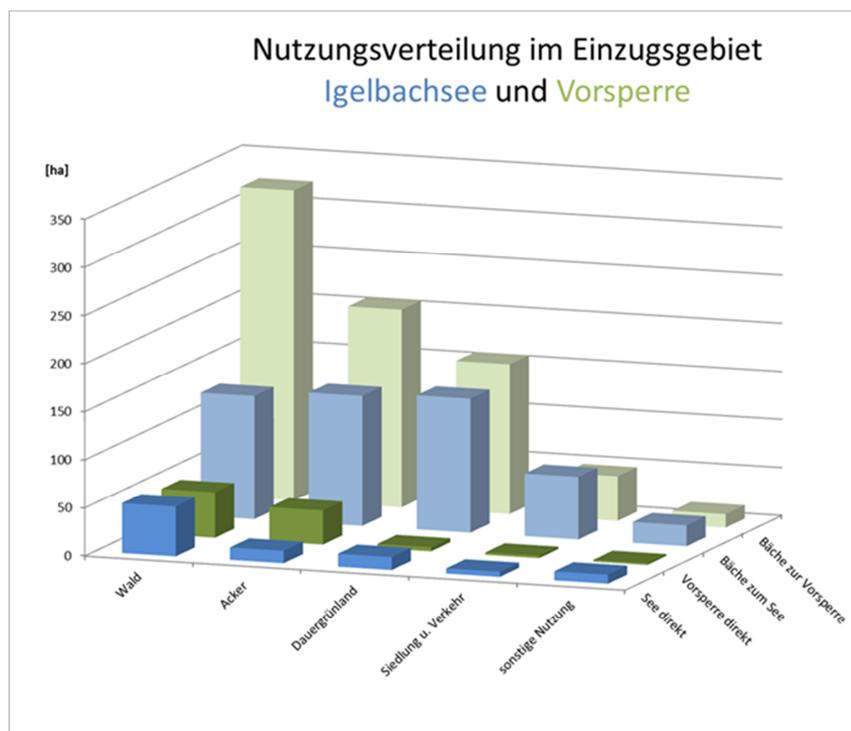


Abbildung 1: *Nutzungsverteilung der unterschiedlichen Teileinzugsgebiete des Igelbachsees und der Vorsperre*

2.1.3 Geologie und Hydrogeologie

2.1.3.1 Geologie

Das Projektgebiet befindet sich im südlichsten fränkischen Keuper-Lias-Land und ist in großen Teilen im Gegensatz zu den benachbarten Gebieten stark zertalt und durch mehr oder weniger steile Talanstiege charakterisiert (BERGER K. et al., 1971). Den überwiegenden Anteil am Aufbau nimmt der Sandsteinkeuper mit dem Burgsandstein und dem Feuerletten ein (BERGER K., et a., 1971). Auf den Hochlagen steht der Feuerletten an. Er besteht aus einer überwiegend roten Tonsteinserie, die lokal teilweise Sandsteineinschaltungen besitzt. An einigen Stellen wird der Feuerletten noch von den geringmächtigen grob- bis feinkörnigen Lias-Sandsteinen und den grauen Tonsteinen des Amaltheentons überlagert (RÖSLER R., 2011 zit. nach Wallrapp, 2011). An den Talflanken und im tieferen Untergrund steht der Sandsteinkeuper an. Er wird aus einer Wechselfolge aus mächtigen grob- bis mittelkörnigen Sandsteinpaketen und zwischengelagerten Tonsteinlagen aufgebaut. Auf bestimmten Horizonten, den sogenannten Basisletten, erreichen die Tonsteinlagen in der Regel mehrere Meter Mächtigkeit (RÖSLER R., 2011 zit. nach Wallrapp, 2011). Der dem Projektgebiet entsprechende Ausschnitt ist in Abbildung 2 dargestellt.

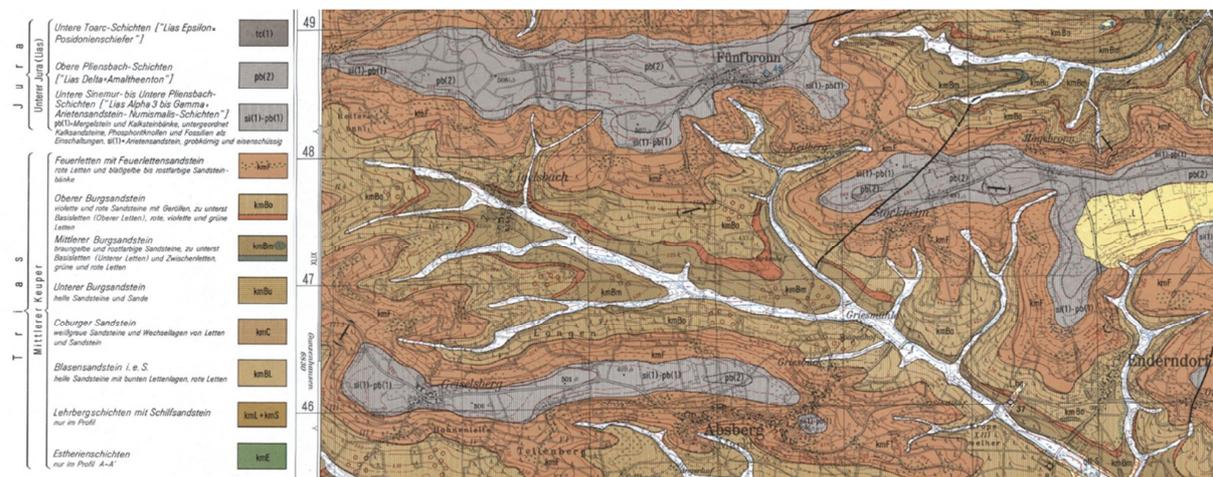


Abbildung 2: *Geologie des Projektgebiets; Ausschnitt aus: Geologische Karte von Bayern, Kartenblatt 6831 Spalt, München 1971*

2.1.3.2 Hydrogeologie

Eine Aufnahme der im Igelsbachseegebiet vorhandenen Grundwasserpegel im Juni 2010, ergab nach Auswertung eine durchweg vom See aus abfallende Grundwasserfläche. Die Momentaufnahme deckt sich mit einem 2009 fortgeschriebenen Gutach-

ten (HG, 2009) eines regionalen Grundwassermodells für den Sandsteinkeuper im südlichen Mittelfranken. Die Ergebnisse dieses Gutachtens zum Status quo ergeben am westlichen Ende des Sees einen Grundwasserzufluss von 0,9 l/s aus dem Burgsandstein in den Igelsbachsee, sowie eine Infiltration von 15 l/s vom Igelsbachsee in den Burgsandstein (Wallrapp, 2011). Dies lässt sich auch aus der Darstellung der Grundwasserhöhengleichen vor dem Bau der Stauseen (Abbildung 3) erahnen: beim Zusammenfluss von Igelsbach und Eilenbach lag die Grundwasserhöhengleiche bei ca. 415 m. Zwischen Absberg und Enderndorf, auf Höhe des jetzigen Hauptdamms, liegt diese bei 400 bis 405 m. Bei Stauziel des Igelsbachsees von 411 m würde es folglich zu einem Zustrom von Grundwasser im westlichen Bereich, sowie zu einem Abstrom ins Grundwasser im östlichen Bereich des Igelsbachsees kommen. Vor Aufstau der Seen folgte die Grundwasseroberfläche im Wesentlichen der Geländemorphologie mit den Bächen als lokale Vorflut für den Grundwasserkörper des Sandsteinkeupers.

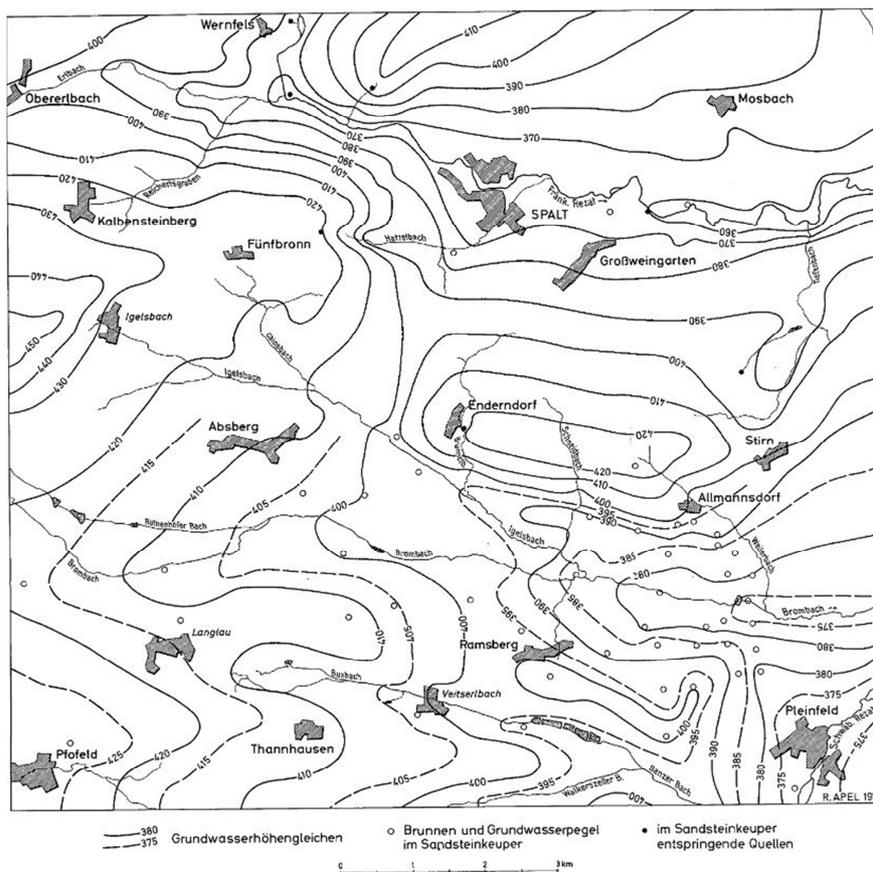


Abbildung 3: *Übersichtsdarstellung der Grundwasserhöhengleichen im Sandsteinkeuper auf Blatt Spalt; Beilage 1 aus den Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000 Blatt Nr.6831 Spalt, München 1971*

2.1.4 Böden

Im Bereich der anstehenden Sandsteine dominieren flachgründige Sandböden. Es treten Braunerden und Parabraunerden im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzflächen auf, unter Wald sind diese oftmals podsoliert und zeigen geringmächtige Bleichhorizonte. Über tonigeren Sandsteinen oder den Tonzwischenlagen sind häufig Gleye und Pseudogleye entwickelt. Vor allem im Bereich des tonigen Feuerletzens und des Amaltheentons sind Pelosole entstanden. Die Sandböden bilden gerade in flachen Lagen landwirtschaftlich vielseitig nutzbare Böden, die zum Beispiel für Getreide gut geeignet sind oder auch beliebte Hopfenstandorte darstellen. Die schweren, teils staunassen Tonböden, insbesondere im Bereich der vorkommenden starken Hangneigungen, bringen erhebliche Bewirtschaftungsschwierigkeiten mit sich. Daher sind viele Lettenbereiche nur für Wald, Grünlandnutzung oder den Obstanbau geeignet. (Rösler R., 2011, zit. nach Wallrapp, 2011). Im Talraum wird teilweise anmooriger Boden vermutet (Krauß, 2008).

Für zwei ca. 35 ha große Gebiete bei Igelsbach (Gebiet Mittelberg/Vorderberg, nördlich von Igelsbach; Gebiet Lerchenbuck, südöstlich von Igelsbach; siehe Abb. 4) wurden aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung die nutzbare Feldkapazitäten der Ackerflächen abgeleitet.



Abbildung 4: *Lage der Gebiete um Igelsbach, für aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung die nutzbare Feldkapazitäten der Ackerflächen abgeleitet wurde*

Tabelle 3: *Zusammenfassung der Bodenarten, -zahlen und daraus abgeleiteten nutzbaren Feldkapazitäten für des Gebiet Mittelberg/Vorderberg nördlich von Igelsbach*

Bodenart	Flächenzahl	Zustands-/Bodenstufe	Entstehungsart/ Klimastufe/ Wasserverhältnisse	Boden-/ Grünland- grundzahl	Acker-/ Grünlandzahl	Abgeleitete nFK
IS	2	5	V	33-35	32-34	93,4
SL	3	4-5	V	40-45	38-43	116,4-138,2
sL	6	5-7	V	35-50	30-46	84,4-127,9
L	2	6	V	40	26-33	123,0
LT	6	6	V	34-38	28-35	90,1

Im Gebiet Mittelberg/Vorderberg herrschen vor allem sandiger Lehm (sL) und schwerer Lehm (LT) mit Bodenzahlen von 28 bis 42 und nutzbaren Feldkapazitäten von 84,4 bis 107,5 mm vor (vgl. Tab. 3).

Im Gebiet Lerchenbuck findet man hauptsächlich anlehmigen Sand (SI) und lehmigen Sand (IS) mit vergleichbaren Bodenzahlen von 28 bis 42 und ähnlichen nutzbaren Feldkapazitäten von 75,2 bis 113,2 mm (vgl. Tab. 4).

Tabelle 4: *Zusammenfassung der Bodenarten, -zahlen und daraus abgeleiteten nutzbaren Feldkapazitäten des Gebiets Lerchenbuck südöstlich von Igelsbach*

Bodenart	Flächenzahl	Zustands-/Bodenstufe	Entstehungsart/ Klimastufe/ Wasserverhältnisse	Boden-/ Grünland- grundzahl	Acker-/ Grünlandzahl	Abgeleitete nFK
SI	6	4-5	V	28 - 34	25 - 33	75,2 – 94,4
IS	4	4-5	V	36 - 42	35 - 41	93,4 – 113,2

Die Böden der beiden betrachteten Gebiete weisen somit nur relativ niedrige Bodenzahlen und ebenso nur verhältnismäßig geringe nutzbare Feldkapazitäten auf. Folglich besitzen sie nur eine geringe Wasserspeicherkapazität. Durch größere Niederschlagsmengen kann es schnell zu einer Wassersättigung der Böden kommen, was folglich zu vermehrtem Oberflächenabfluss führen kann.

2.1.5 Klimatische Situation

Der betrachtete Naturraum „Mittelfränkisches Becken“ ist dem kontinental geprägten, relativ trockenen Mittelgebirgsklima zuzuordnen. Die Täler sind im Vergleich zum Hügelland klimatisch deutlich begünstigt (nach Krauß, 2008).

Im langjährigen Mittel (1931 – 2018) fielen 704 mm Niederschlag. Tendenziell ist über den dargestellten Zeitraum eine Erhöhung der jährlichen Niederschlagsmenge erkennbar (vgl. Abb. 5).

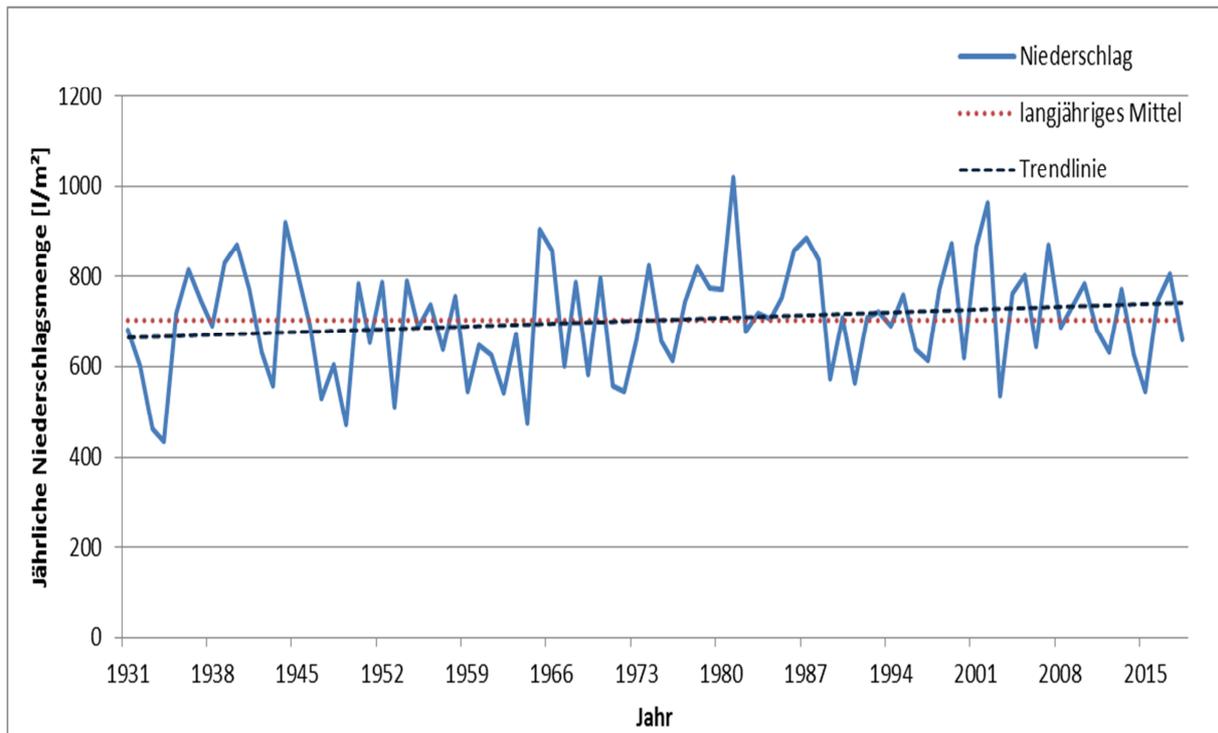


Abbildung 5: *Entwicklung der jährlichen Niederschlagsmenge von 1931 bis 2018 (gemittelt aus Einzeldaten der Messstationen Georgensgmünd, Haundorf-Obererlbach und Pleinfeld)*

Die Jahresmitteltemperatur im Projektgebiet liegt für den Zeitraum von 1990 bis 2018 bei 9,0 °C. Die Trendlinie zeigt eine eindeutige Erhöhung der Jahresmitteltemperatur über die dargestellten 28 Jahre (vgl. Abb. 6).

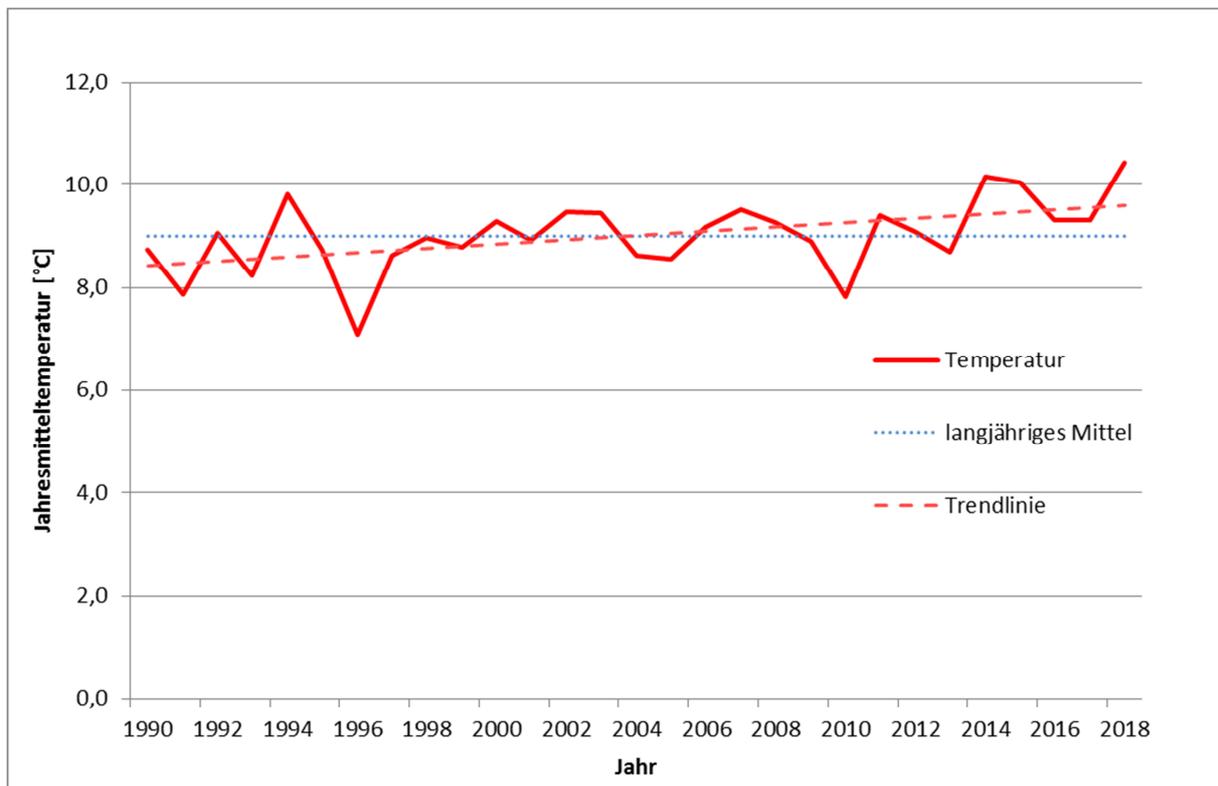


Abbildung 6: *Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen von 1990 bis 2018 (gemittelt aus Einzeldaten der Messstationen Windsfeld, Obersteinbach und Triesdorf)*

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen schon eine Tendenz in Richtung des viel diskutierten Klimawandels: Steigende Temperaturen erhöhen die potentielle Verdunstung. Ebenso kann warme Luft auch mehr Wasserdampf speichern. Das Risiko größerer Niederschlagsereignisse, auch kräftige innerhalb kürzester Zeit, steigt folglich auch.

2.2 Gewässer des Einzugsgebiets

2.2.1 Igelsbachsee und Vorsperre

Problematisch für den Igelsbachsee ist seine zunehmende Eutrophierung. Während die Igelsbachsee-Vorsperre mittlerweile als eutroph einzustufen ist, gilt die Igelsbachsee-Hauptsperre als schwach eutroph (Krauß, 2008). Dabei trat vor allem in den Jahren 2005 und 2006 ein vermehrtes Wachstum von Blaualgen auf. Nach Angaben des WWA Ansbach brachte die Eutrophierung des Sees auch Probleme für die Fischfauna mit sich. In den letzten Jahren konnten wiederholt starkes Photoplankton festgestellt werden, jedoch keine Blaualgen (WWA Ansbach, 2015).

2.2.2 Zuflüsse des Igelsbachsees

In den See münden mehrere Zuflüsse, die ringsherum verteilt sind. Die Ergebnisse einer Diplomarbeit (Krauß, 2008) und einer Masterarbeit (Wallrapp, 2011) zeigen, dass fünf Zuflüsse etwa 75% des Einzugsgebietes abdecken und für einen ebenso großen Anteil der in den See eingetragenen Nährstofffrachten verantwortlich sind. Diese fünf Gewässer sind der Igelsbach, der Eilenbach, der Gänsbach, der Hurengraben sowie der Graben am Schellhof.

Das teilweise sehr steile Relief des Einzugsgebietes führt zu extrem unterschiedlichen Abflussganglinien: bei hohen Niederschlagsmengen kommt es zu hohen Abflüssen und starken Ausuferungen in den (kleinen) zuführenden Gewässern. Bei geringen Niederschlagsmengen hingegen sind über längere Perioden teilweise extrem geringe Abflüsse zu verzeichnen. Außerdem kann es durch das bis zu 20% steile Gefälle mancher landwirtschaftlicher Flächen bei stärkeren Niederschlägen zum Abschwemmen von Nährstoffen aus den Feldern in die einzelnen Bäche und letztlich den Igelsbachsee kommen.

Die beiden Zuflüsse Igelsbach und Eilenbach münden nicht in den eigentlichen See, sondern in die Igelsbachsee-Vorsperre. Diese erfüllt in Jahren mit geringen Niederschlägen eine echte Vorbeckenfunktion. Nach Wallrapp (2011) soll diese bei lang anhaltenden Niederschlägen und entsprechen hohem Abfluss jedoch überströmt werden und somit keinen wesentlichen Nährstoffrückhalt mehr bieten.

Eine Belastung der Zuläufe und des Sees durch gereinigtes Abwasser kann auf Grund der Anbindung der anliegenden Ortschaften mittels einer Ringleitung an die Zentralkläranlage Pleinfeld ausgeschlossen werden. Der Einfluss von vier Regenüberläufen auf die in den See eingetragene Nährstoffmenge ist von untergeordneter Bedeutung (Krauß, 2008; WWA Ansbach, 2015).

2.3 Erosionsgefährdung der Böden

Für die Bestimmung der Erosionsgefährdung der Böden bildet die Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) eine weithin akzeptierte und angewendete Grundlage. Durch sie kann der Bodenabtrag durch Flächen- und Rillenerosion bei Starkregen für Einzelflächen berechnet werden. Der berechnete Abtrag gilt für das langjährige Mittel, von dem einzelne Jahre stark nach unten und oben abweichen können. Die einzelnen Faktoren, die die Erosion wesentlich bestimmen, sind unter anderem anschaulich in Haider (2013) und Christoffels (2013) dargestellt.

2.3.1 Niederschlag / Oberflächenabfluss

Der Oberflächenabfluss setzt dann ein, wenn die Niederschlagsintensität die Infiltrationsrate des Bodens übersteigt. Die Infiltrationsrate ist abhängig von der Bodenart, der Bodenstruktur und vor allem auch vom Zustand der Bodenoberfläche. Böden mit hohem Anteil an leicht verlagerbaren Partikeln (Feinsand – Grobschluff) neigen zur Verschlämmung. Oberflächenabfluss tritt auch bei wassergesättigtem Oberboden vor allem im Winter auf. Auch bei der Schneeschmelze, wenn der Boden nur oberflächlich angetaut ist und das Schmelzwasser nicht versickern kann, setzt er ein. Wie Fritz et al. (2007) zeigen konnten, kann jedoch auch Infiltration in ähnlicher Größenordnung wie bei ungefrorenen Boden erfolgen. Voraussetzung ist, dass der Boden nicht zu tief gefroren ist. Die Verlagerung von Bodenpartikeln tritt dann auf, wenn die Energie des aufprallenden Regens (Starkregen) oder des an der Oberfläche abfließenden Wassers ausreicht, um Partikel aus dem Boden zu lösen.

2.3.2 Bodeneigenschaften

Anfällig sind Böden, die einen hohen Anteil leicht verlagerbarer Partikel haben (Feinsand – Schluff: 0,2 – 0,002 mm Korngröße). Hohe Gehalte an Humus und Ton führen zur Bildung großer Bodenaggregate, die schwer zu mobilisieren sind. Auch Steine an der Bodenoberfläche puffern viel Aufprallenergie des Regens ab und verringern so den Bodenabtrag. Dieser Effekt kann auch durch eine Mulchschicht erreicht werden. Gegen Erosion im Winter wirkt auch eine erhöhte Oberflächenrauigkeit („rauhe Pflugfurche“). Je glatter die Oberfläche, desto eher kann sich ein Wasserfluss ausbilden, der Partikel mobilisieren kann.

2.3.3 Hangneigung und Hanglänge

Mit zunehmender Hangneigung und auch Hanglänge gewinnt der Oberflächenabfluss an Transportkapazität, insbesondere wenn er sich noch in vorgeformten Abflussrinnen konzentriert.

2.3.4 Bewirtschaftung

Die Einwirkung von Niederschlag auf den Boden ist umso höher, je weniger Bedeckung durch Kulturen oder Mulch vorhanden ist, die die Aufprallenergie verringern kann. Zusätzlich stabilisieren Wurzeln den Boden wesentlich. Besonders gefährdet ist der Boden im Zeitfenster zwischen Bodenbearbeitung vor der Saat bis zum Bestands- oder Reihenschluss. Gerade Mais wird erst relativ spät gesät (April / Mai), so dass ohne vorherigen Zwischenfruchtanbau der Boden von August – Juni / Juli quasi

brach liegt. Erst dann ist mit einer Bodenbedeckung von mehr als 50 % zu rechnen. Somit überschneiden sich die Brache und die geringe Bodenbedeckung mit der Zeit erhöhter Regenerosivität. Sommergetreide bieten ab Ende April / Mai bereits eine ausreichende Bodenbedeckung. Wintergetreide und Winterraps haben die längste Bodenbedeckung, die meist schon vor dem Winter ausreichend ist. Spät gesäeter Winterweizen kann jedoch oft im Herbst keine ausreichende Bodenbedeckung mehr bilden. Mehrjähriger Feldfutterbau (z. B. Klee gras) oder Dauergrünland bieten einen hohen Schutz gegen Erosion. Insbesondere steigt das Infiltrationspotential der Böden dann deutlich an (Henke, 2007). Dass auch auf biologisch bewirtschafteten Böden das Infiltrationspotential höher sein kann als auf vergleichbaren konventionell bewirtschafteten Standorten zeigt Hartmann et al. (2009). Dabei wird vor allem die höhere Regenwurmdichte als ausschlaggebend angeführt. Diesen Effekt weist auch Müller für die konservierende Bodenbearbeitung nach (Müller, 2006).

Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft hat die ABAG sowie die Wirksamkeit verschiedenster Erosionsschutzmaßnahmen anhand von tatsächlichen Erosionsereignissen im Mai/Juni überprüft (Bayerische LfL, 2013). Dabei zeigt sich auch gemäß nachfolgender Abbildung, dass in Winterkulturen keine Erosionsschäden, in Sommerkulturen außer Mais kaum Schäden auftreten. Die wesentlichen Schäden treten bei Mais auf.

In dieser Studie wurde auch festgestellt, dass es gerade bei der Saat von Winterraps im August noch zu Erosionsereignissen kommen kann, da dann noch mit sommerlichen Starkregenereignissen zu rechnen ist (siehe auch oben Abschnitt Niederschlag).

3 Methodik

3.1 Kartierung/Kartenerstellung

Bei der Erarbeitung des Bestandsplans wurde im Wesentlichen nach Lenz (ARGE, 2006) vorgegangen. Folgende Daten wurden ausgewertet und in die Karten integriert:

Tabelle 5: *Verwendete Kartengrundlagen*

Daten	Quelle
Kartgrundlage	Digitale Flurkarte 1:50.000 Bayerische Vermessungsverwaltung
Drainagepläne	AELF Mittelfranken, WWA Ansbach
Naturschutzgebiete	Bayerisches Landesamt für Umwelt, WMS-Server
Erosionskarte	GeoTeam 2019 nach ABAG interaktiv

3.2 Witterung

Die zum Projektgebiet nächstgelegenen Wetterstationen wurden zur Bestimmung der Niederschlags- und Temperaturdaten herangezogen. Aus Einzelwerten von drei Messstationen wurde der Mittelwert gebildet und dieser für die weitere Auswertung verwendet. In Tabelle 6 sind die verwendeten Wetterstationen aufgeführt.

Tabelle 6: *Verwendete Wetterstationen*

Parameter	Wetterstation	Messnetz/ID	Höhe ü. NN	Lage
Temperatur	Obersteinbach	BAM 055	390 m	49.22°Nord, 10.95° Ost
	Triesdorf	BAM 021	440 m	49.21°Nord, 10.65° Ost
	Windsfeld	BAM 052	417 m	49.08°Nord, 10.80° Ost
Niederschlag	Georgensgmünd	DWD 1607	346 m	49.19°Nord, 11.03° Ost
	Haundorf – Obererlbach	DWD 2064	449 m	49.18°Nord, 10.82° Ost
	Pleinfeld - Mandlesmühle	DWD 3950	380 m	49.12°Nord, 10.97° Ost

Die genutzten Daten konnten frei über das Online-Angebot des Deutschen Wetterdienstes (2019) bzw. der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Bayerische LfL, 2019) heruntergeladen werden.

3.3 Ableitung der nutzbaren Feldkapazität aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung

Zur Einordnung und Beurteilung der Böden des Projektgebietes wurden die nutzbaren Feldkapazitäten in zwei ausgewählten Gebieten bestimmt. Hierzu wurden zunächst die entsprechenden Klassenzeichen der einzelnen Ackerflächen anhand der im BayernAtlas abrufbaren Bodenschätzung ermittelt (Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2019). Anschließend wurden nach Vorderbrügge et al. (2004) die entsprechenden nutzbaren Feldkapazitäten abgeleitet.

3.4 Bodenerosion – Ermittlung nach ABAG interaktiv

Mit Hilfe der Online-App „ABAG interaktiv“ (Brandhuber et al, 2018) wurden für jeden Acker-Schlag des Projektgebietes der mittlere langjährige Bodenabtrag und die entsprechende Toleranzgrenze für den Bodenabtrag berechnet.

Zur Berechnung der einzelnen Faktoren der Bodenabtragungsgleichung wurden wie folgt vorgegangen:

Regen/R-Regen- und Oberflächenabflussfaktor: Eingabe des Landkreises und der Gemeinde, in der die jeweilige Fläche liegt

Boden/K-Bodenerodierbarkeitsfaktor: Der Einfluss der Steinbedeckung wurde für alle Flächen standardmäßig über den Button „Messung oder Feldschätzung“ auf 0% Steinbedeckung festgelegt. Für die Bestimmung des Einflusses des Feinbodens wurden über den Button „Bodenschätzung“ flächenspezifisch die Daten aus der Bodenschätzung des BayernAtlas eingegeben.

Hangform/LS-Hanglängen- und Hangneigungsfaktor: Die erforderlichen Daten wurden über den Button „Eingabe von Länge und Neigung“ manuell eingegeben. Die erforderlichen Werte wurden mit Hilfe des BayernAtlas bestimmt. Hierzu wurde eine Linie entlang des größten Gefälles der Fläche (anhand der eingeblendeten Höhenlinien) eingezeichnet, aus dem angezeigten Höhenprofil die Hanglänge und der Höhenunterschied entnommen und die Neigung der Fläche berechnet.

Bewirtschaftung/C-Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor: Hier wurde für Ackerflächen die Fruchtfolge „Mais-Getreide-Fruchtfolgen (auch Mischung von Reihenfrüchten)“ gewählt und nachfolgend die entsprechenden, vorgeschlagenen Standarteinstellungen übernommen.

Bearbeitungsrichtung/P-Erosionsschutzfaktor: Zur Einschätzung, ob die Fläche in Gefällerrichtung oder quer zum Hang bewirtschaftet wird, wurden Satellitenbildern und/oder die Form des Feldes (aus BayernAtlas) herangezogen.

Tatsächlicher Bodenabtrag/A-Ergebnis: Eingabe der Bodenzahl aus Bodenschätzung nach BayernAtlas. Falls einem Feldstück anhand der Bodenschätzung mehrere Bodenzahlen zugeordnet waren, wurde der Mittelwert verwendet.

3.5 Nährstoffkonzentrationen und Abfluss

Nährstoffkonzentrationen

Die Datengrundlage zur Darstellung der Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen in der Vor- und Hauptsperre des Igelsbachsees bilden vom WWA Ansbach zur Verfügung gestellten Messwerte. Diese wurden bereits zeitlich getrennt in den Arbeiten von Krauß (2008, Werte: 1987 - 2006), Wallrapp (2011, Werte: 2005 - 2010) und dem WWA Ansbach (2015, Werte: 2012 - 2014) verwendet.

Für die Vorsperre des Sees konnten so die Konzentrationsentwicklungen von Gesamphosphor, ortho-Phosphat, Nitrat und Ammonium von 1981 bis 2018 grafisch dargestellt werden. Für die Hauptsperre lagen Messwerte erst ab dem Jahr 1993 vor. Für die Jahre 2007 bis 2010 lagen leider keine Werte zu ortho-Phosphat- und Ammoniumkonzentrationen vor.

Abfluss

Im Rahmen des Messprogramms „Fränkische Seen“ wurden in den Jahren 2012 bis 2014 vom WWA Ansbach die Nährstoffkonzentrationen und Abflussmengen mehrerer Zuflüsse des Igelsbachsees zeitlich eng aufgelöst erfasst (WWA Ansbach, 2015). Diese Daten wurden zur detaillierten Darstellung von Abflussmengen und Nährstofffrachten des Igelsbachs bei verschiedenen Niederschlagsereignissen verwendet.

4 Untersuchungsergebnisse und Auswertung vorhandener Daten

4.1 Igelsbachsee und Vorsperre

4.1.1 Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen in der Vor- und Hauptsperre

Mittels vom WWA Ansbach zur Verfügung gestellten Daten konnte sowohl für die Vor- als auch für die Hauptsperre des Igelsbachsees die Entwicklung der P-Gesamt-, der ortho-Phosphat-, der Ammonium und der Nitratkonzentration an der Seeoberfläche von 1987 bis 2018 grafisch dargestellt werden.

4.1.1.1 Phosphor

Vergleicht man die Werte der Vorsperre mit denen der Hauptsperre, so ist deutlich zu erkennen, dass sowohl die Gesamt-P- als auch die ortho-Phosphat-Konzentrationen in der Vorsperre immer deutlich über denen der Hauptsperre liegen. Im Mittel fallen die Konzentrationen von Gesamt-P und ortho-Phosphat im dargestellten Zeitraum in der Vorsperre um das 4- bzw. 2-fache höher aus als in der Hauptsperre (vgl. Abb. 7, Abb. 8).

4.1.1.1.1 Gesamt-P

Tendenziell nimmt die Gesamt-P-Konzentration in der Vorsperre während des betrachteten Zeitraums zu, wo hingegen für die Hauptsperre kein Trend beobachtet werden kann (vgl. Abb. 7). Krauß (2008) erkannte noch eine leichte Zunahme der Gesamt-P-Konzentration in der Hauptsperre. Vergleicht man nun das Gesamt-P-Konzentrations-Verhältnis der beiden Trendlinien von Vor- und Hauptsperre in den Jahren 1993 und 2018, so ergibt sich eine Erhöhung dieses Verhältnisses der Gesamt-P-Konzentration von ca. 3:1 (1993) zu ca. 4:1 (2018).

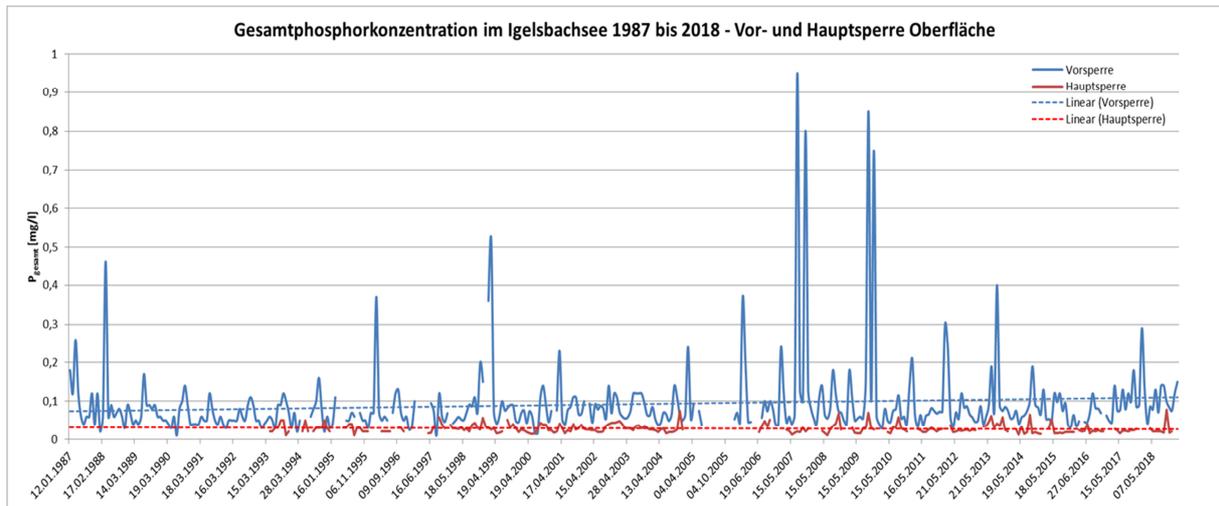


Abbildung 7: *Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentration an der Oberfläche der Vor- und Hauptstperre des Igersbachsees in den Jahren 1987 bis 2018*

Die in Abbildung 7 ersichtlichen Konzentrationsmaxima von Gesamtphosphor an der Oberfläche des Igersbachsees treten vor allem in den Monaten von Januar bis März auf. Zudem bildeten sich während des betrachteten Zeitraums noch eine große Anzahl von Maxima in den Monaten August und September aus.

4.1.1.1.2 Ortho-Phosphat

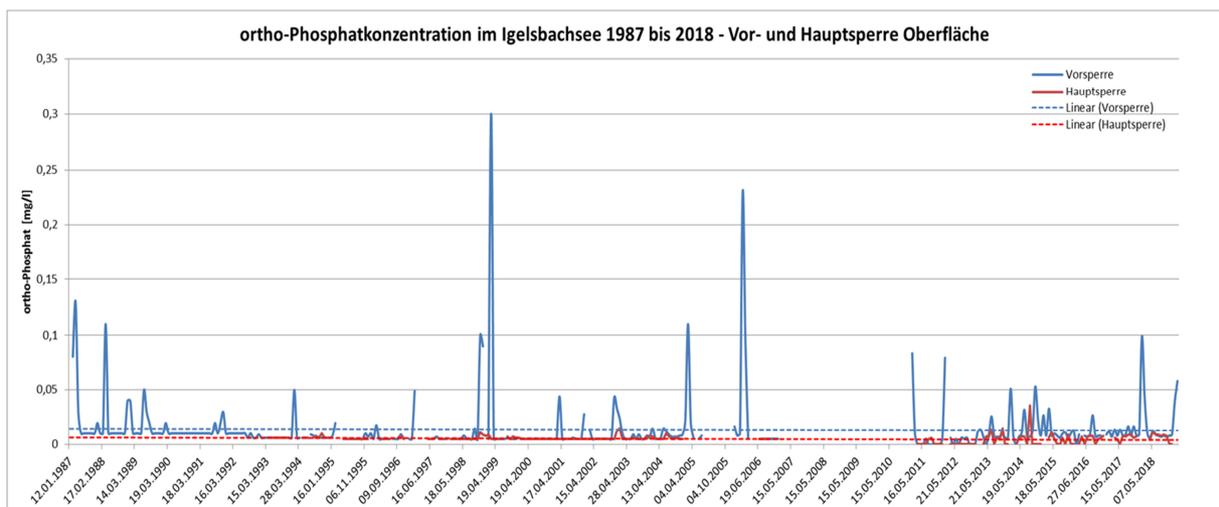


Abbildung 8: *Entwicklung der ortho-Phosphatkonzentration an der Oberfläche der Vor- und Hauptstperre des Igersbachsees in den Jahren 1987 bis 2018*

Entgegen der Veränderung der Gesamt-P-Konzentration kann für das ortho-Phosphat kein Trend einer Konzentrationszunahme bzw. -abnahme über den dargestellten Zeitraum erkannt werden. Die Trendlinien sowohl der Vor- als auch der Hauptsperre weisen keine Veränderung auf (vgl. Abb. 8).

Analog zum Gesamtphosphor treten auch für das gelöste ortho-Phosphat die Konzentrationsmaxima an der Oberfläche des Igelsbachsees vor allem in den Monaten von Januar bis März auf. Zudem finden sich während des betrachteten Zeitraums noch mehrere Maxima für die Monate November/Dezember und August/September.

4.1.1.1.3 Phosphoreinträge durch Rücklösung aus dem Sediment des Igelsbachsees

Der Igelsbachsee bildet im Sommer ein ausgeprägtes Epilimnion mit hohen Wassertemperaturen aus, das sich bis zum August über die gesamte Wassersäule ausbreitet. Im Lauf der saisonalen Entwicklung kommt es durch anaerobe Bedingungen an der Grenzschicht zwischen Gewässergrund und Seewasser im Spätsommer zu Rücklösungsprozessen des im sedimentierten Schlamm befindlichen Phosphors. Dadurch steigt die ortho-Phosphat-Konzentration über dem Gewässergrund im Sommer an. Durch das mächtige Epilimnion wird ein Transport des bodennah freigesetzten Phosphors in die oberflächennahen Schichten fast während der gesamten Vegetationsperiode verhindert. Die ortho-Phosphat-Konzentration an der Oberfläche wird somit von den Rücklösungsprozessen am Gewässergrund zunächst nicht beeinflusst (Krauß, 2008; WWA Ansbach, 2015). Diese Situation findet dann ihr Ende, wenn durch Ausgleich der Wassertemperatur über die gesamte Tiefe ein Stoffausgleich wieder möglich wird. Dies kann im Igelsbachsee - im Gegensatz zu stabil geschichteten Seen - aber bereits im August/September bei Temperaturen über 16° C eintreten (WWA Ansbach, 2015). So könnten sich auch die an der Oberfläche des Sees erfassten Gesamt-Phosphor- und ortho-Phosphat-Konzentrationsmaxima im August bzw. September erklären. Zu diesem Zeitpunkt könnten sich theoretisch zudem noch große Algenmengen bilden (WWA Ansbach, 2015). Wird das rückgelöste ortho-Phosphat allerdings nicht durch Phytoplanktonentwicklung verbraucht bzw. gebunden, trägt es zu den Konzentrationsmaxima im Winterhalbjahr bei.

4.1.1.2 Stickstoff

Analog zum Phosphor erkennt man auch beim Vergleich der Stickstoff-Werte der Vorsperre mit denen der Hauptsperre, dass sowohl die Ammonium- als auch die Nitratkonzentrationen in der Vorsperre immer deutlich über denen der Hauptsperre liegen. Im Mittel fallen die Konzentrationen von Ammonium und Nitrat im dargestellten

Zeitraum in der Vorsperre um das 2- bzw. 3,5-fache höher aus, als in der Hauptsperre (vgl. Abb. 9, Abb. 10).

4.1.1.2.1 Ammonium

Tendenziell nehmen die Ammoniumkonzentrationen sowohl in der Vor- als auch in der Hauptsperre im betrachteten Zeitraum zu. Dieser Trend wurde bereits von Krauß (2008) für den Zeitraum der Jahre von 1987 bis 2005 beobachtet und er setzte sich bis zum Jahr 2018 fort. Die ebenso von Krauß (2008) erkannte Verringerung der absoluten Maxima in der Vorsperre setzte sich nur bis zum Jahr 2013 fort. Im November 2014 wurde die höchste Ammoniumkonzentration während des gesamten Messzeitraums bestimmt. In den Folgejahren nahmen die gemessenen Maxima jedoch schnell wieder ab. Die Maxima der Hauptsperre steigen dagegen bis zum Jahr 2011 an und nehmen ab dann wieder ab (vgl. Abb. 9).

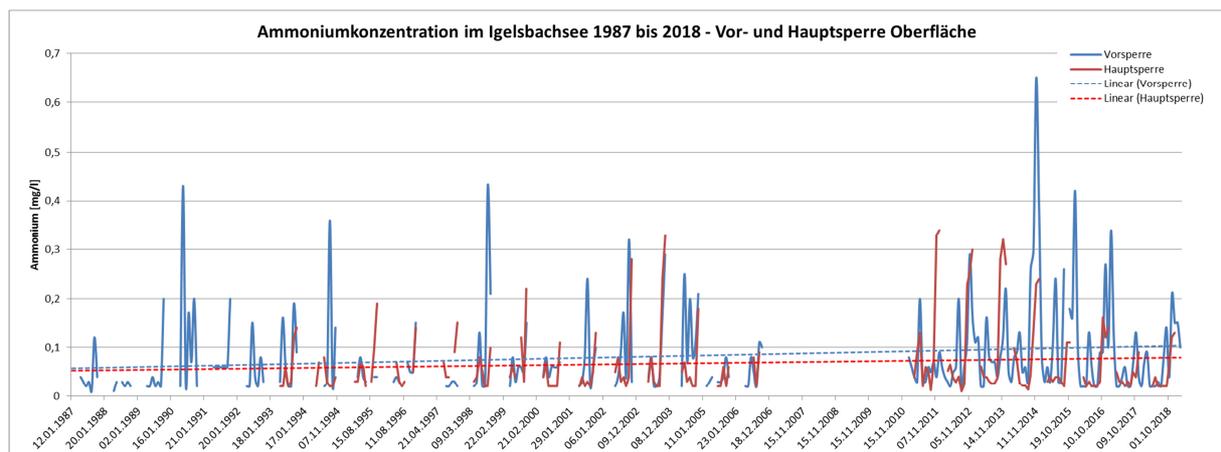


Abbildung 9: *Entwicklung der Ammoniumkonzentration an der Oberfläche der Vor- und Hauptsperre des Igelsbachsees in den Jahren 1987 bis 2018*

4.1.1.2.2 Nitrat

Die Nitratkonzentrationen nehmen sowohl in der Vor- als auch in der Hauptsperre im betrachteten Zeitraum deutlich ab und bestätigen den Trend, der schon von Krauß (2008) für die Jahre von 1987 bis 2005 beschrieben wurde. Dabei scheint die Nitrat-Abnahme in Vor- und Hauptsperre mit annähernd der gleichen Rate abzunehmen. Die Trendlinien verlaufen so gut wie parallel. Auch die Konzentrationsmaxima nehmen augenscheinlich ab, wobei in der Vorsperre in den Jahren 2016 und 2018 wieder deutlich höhere Maxima bestimmt wurden. Betrachtet man die jährliche Nitrat-Entwicklung zeigen sich deutliche jahreszeitliche Schwankungen, welche immer dem

gleichen Muster folgen: Wintermaxima von Januar bis März, Sommerminima im August oder September (vgl. Abb. 10).

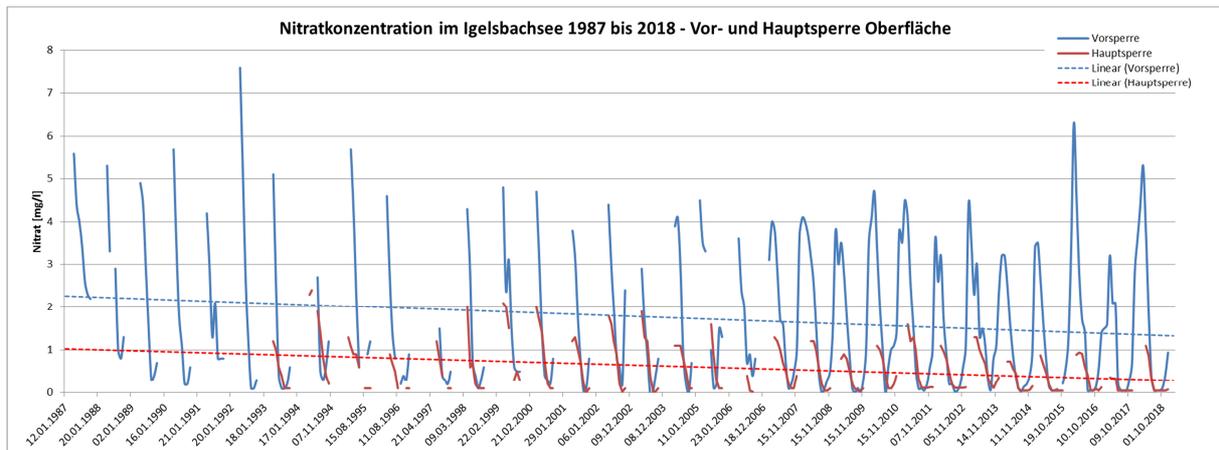


Abbildung 10: *Entwicklung der Nitratkonzentration an der Oberfläche der Vor- und Hauptsperre des Igelbachsees in den Jahren 1987 bis 2018*

4.1.2 Zusammenfassung - Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen von 1987 bis 2018 und Auswirkung auf das Phytoplankton

Während des Beobachtungszeitraums von 1987 bis 2018 stiegen die Gesamtposphorkonzentrationen in der Vor- und Hauptsperre des Igelbachsees an. Dem gegenüber nahmen die Nitratkonzentrationen deutlich ab.

Generell stehen die Gesamtposphor- und Nitratkonzentration in enger Verbindung mit der Zuflusssituation: Hochwasserereignisse der Zuflüsse des Igelbachsees erhöhen - unabhängig ob diese im Winter, Frühjahr oder Sommer stattfinden - die Nährstoffkonzentrationen deutlich.

Die vorgefundenen Nährstoffkonzentrationen bilden Jahr für Jahr beste Voraussetzungen für die Phytoplanktonentwicklung im Igelbachsee. Während der, durch das Phytoplanktonwachstum hervorgerufenen, ausgedehnten, sommerlichen Stickstoff-Minima besteht im Igelbachsee stets die latente Gefahr einer Dominanz von Cyanobakterien. Niedrige Phosphorkonzentrationen im oberflächennahen Freiwasser können jedoch dazu führen, dass sich auch in dieser Zeit keine Cyanobakterienblüten ausbilden können (WWA Ansbach, 2015). Durch sommerliche Hochwasserereignisse gelangt neben Phosphor gleichzeitig auch Nitrat in größeren Mengen in den See. Da neben dem erhöhten Nährstoffangebot auch Licht in ausreichendem Maß vorhanden ist kann es zu einem massiven Auftreten von Phytoplankton kommen.

Stickstoff-fixierende Cyanobakterien sind in dieser Situation nicht begünstigt. Eine Verringerung der Phosphorkonzentration im See durch Reduzierung des Phosphor-Eintrags aus dem Einzugsgebiet durch die Zuflüsse bei gleichbleibend niedriger oder weiter sinkender Nitratkonzentration könnte grundsätzlich das jährliche Phytoplanktonwachstum senken und das Auftreten von Cyanobakterien weiter herabsetzen.

4.1.3 Funktion und Wirkung der Igelsbachsee-Vorsperre

Der Igelsbach und der Eilenbach entwässern direkt in die Vorsperre und tragen erhebliche Mengen an Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat in diese ein.

Gemäß dem DWA-Merkblatt DWA-M 605 wird die Igelsbachsee-Vorsperre dem Typ 1 - Vorsperren vorrangig zur Eutrophierungsminderung zugeordnet. Berechnungen von Krauß (2008) und Wallrapp (2011) ergaben, dass eine positive Wirkung der Vorsperre zweifelsfrei gegeben ist. So wird die maximal mögliche Elimination von 80 % des pflanzenphysiologisch wirksamen Ortho-Phosphats in 8 von 12 Monaten erreicht. Dies ist vor allem in den kritischen Sommermonaten, mit Vorlauf ab April und bis in den späten Herbst hinein der Fall. In der Jahressumme wird in der Vorsperre so eine Eliminationsrate von 34 % des durch den Igelsbach und den Eilenbach in die Vorsperre eingetragenen ortho-Phosphats erreicht (Krauß, 2008; Wallrapp, 2011).

4.2 Zuflüsse des Igelsbachsees

4.2.1 Nährstoffeinträge durch die Zuflüsse

Die Ergebnisse aus dem Messprogramm „Fränkische Seen“ 2012 bis 2014 (WWA Ansbach, 2015) und der Diplomarbeit von Kraus (2008) zeigen, dass die größten Nährstofffrachten bei lang anhaltenden Niederschlägen und entsprechend hohem Abfluss der Bäche und Gräben in den Igelsbachsee eingetragen werden. So betrug die Gesamtphosphor-Fracht im Jahr 2013 durch das Sommerhochwasser das 3- bzw. 10-fache gegenüber den Vergleichsjahren 2012 und 2014. Bei diesem Ereignis wurden zudem die doppelte bis 3-fache Menge an Nitrat in den Igelsbachsee durch die Zuflüsse eingebracht (vgl. Tabelle 6, WWA Ansbach, 2015). Schon bei der Abschätzung der Phosphor-Einträge durch Wallrapp (2011) wurde eine Spanne um den Faktor 10 diskutiert. In Jahren ohne langanhaltende bzw. intensive Regenereignisse werden normalerweise in den Wintermonaten (November bis März) mehr Nährstoffe in den See transportiert, als in den Sommermonaten (Krauß, 2008; WWA Ansbach, 2015).

Tabelle 7: *Gesamtnährstofffrachten der Igelsbachseezuläufe in den Jahren 2012 bis 2014 (nach WWA Ansbach, 2015)*

Jahr	P _{gesamt} [kg]	o-PO ₄ -P [kg]	NH ₄ -N [kg]	NO ₃ -N
2012	185,8	44,8	48,4	5095,3
2013	593,1	81,8	116,0	8696,4
2014	61,1	7,5	30,8	2544,5
gesamt	840,0	134,1	195,2	16336,2
Mittelwert	280,0	44,7	65,1	5445,4
nach Angaben: Messprogramm „Fränkische Seen“ 2012-2014; WWA Ansbach				

Etwa ein Fünftel der in den Igelsbachsee eingetragenen Gesamtmenge an Phosphor macht das für Algen verfügbare, gelöste ortho-Phosphat aus (vgl. Tab. 6, WWA Ansbach, 2015).

Die im Rahmen des Messprogramms „Fränkische Seen“ ermittelten Jahresfrachten der fünf Zuflüsse von durchschnittlich 280 kg-P (vgl. Tabelle 7) stimmen recht gut mit den 256 kg-P von Krauß (2008) und den ca. 200 kg-P vom Fachbüro KLS (2011) abgeschätzten und berechneten jährlichen Einträgen überein. Wallrapp (2011) hingegen errechnete eine jährliche P-Fracht in den Igelsbachsee von 1065 kg-P.

Das Fachbüro KLS berechnete 2011 eine kritische Phosphorbelastung von ca. 130 kg P/a. Würden mehr als 130 kg Phosphor pro Jahr in den Igelsbachsee eingetragen, kommt es zu einer Eutrophierung und der Erhöhung des mittleren Gesamtphosphor-Gehalt des Sees. Die Untersuchungsergebnisse des Fachbüros KLS zeigen aber auch, dass sich der Igelsbachsee seit 1993 bis 2011 auf einem nahezu gleichbleibenden trophischen Niveau befindet und keine erkennbare weitere Eutrophierung stattfindet. Die Gefahr einer weiteren Eutrophierung besteht vor allem dann, wenn der Phosphoreintrag aus dem Einzugsgebiet beispielsweise durch eine Ausweitung oder Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung erhöht würde. Aufgrund der kurzen Wasseraufenthaltszeit von nur 1,2 Jahren könnte das Trophieniveau des Igelsbachsees allerdings auch innerhalb weniger Jahre durch Maßnahmen zur Reduzierung des Phosphoreintrages aus dem Einzugsgebiet gesenkt werden.

Hierzu führte Wallrapp (2011) auch detaillierte Berechnungen durch. Der P-Eintrag durch Flächenerosion in den Igelsbachsee nimmt dabei ca. 74% der jährlichen P-Gesamt-Fracht ein. Alleine durch Begrenzung des übermäßigen Bodenabtrags von landwirtschaftlichen Flächen auf den zulässigen Abtrag gemäß ABAG kann der Phosphoraustrag theoretisch um fast 37% von 789 kg-P/a auf 498 kg-P/a reduziert werden. In dieser Hinsicht spielen auch die durchweg hohen Phosphorgehalte im Oberboden der landwirtschaftlichen Flächen im Igelsbachsee-Einzugsgebiet eine

wichtige Rolle. Diese besitzen oft die Gehaltsstufen D und E und sind somit hoch bzw. sehr hoch mit Phosphor versorgt. Würden alle Böden im Einzugsgebiet in die mittlere Gehaltsstufe C überführt, könnte der Phosphoreintrag um weiter 12% gesenkt werden und läge für den Erosionsanteil aus landwirtschaftlich genutzten Flächen mit etwa 401 kg-P/a nur noch bei 51% des berechneten Ausgangswertes von 789 kg-P/a (Wallrapp, 2011).

Werden die Annahmen von Wallrapp (2011) auf die vom WWA Ansbach ermittelte durchschnittliche Jahres-P-Gesamtfracht (2012 – 2014) von 280 kg-P übertragen, so ergibt sich ein Anteil der Flächenerosion von 207 kg-P. Durch die zuvor beschriebenen Maßnahmen (Begrenzung des übermäßigen Bodenabtrags von landwirtschaftlichen Flächen auf den zulässigen Abtrag, Überführung aller Böden im Einzugsgebiet in die mittlere Gehaltsstufe C) könnte sich der Phosphoreintrag durch Erosion aus landwirtschaftlich genutzten Flächen theoretisch auf 106 kg-P/a verringern. Insgesamt würden dann jährlich nur noch 179 kg-P/a in den Igelsbachsee eingetragen und es würde zu einer deutlichen Annäherung an die vom Fachbüro KLS berechnete kritische Phosphorbelastung von ca. 130 kg P/a kommen.

Auffällig für alle Igelsbachseezuläufe ist, dass der Gesamtphosphorgehalt überwiegend aus partikulärem Phosphor (45 bis zu 85%) besteht, mit steigender Tendenz bei zunehmendem Abfluss. Diese hohe partikuläre Fracht zeigt, dass der Faktor „Erosion“ eine erhebliche Rolle im Igelsbachsee-Einzugsgebiet spielt. Selbst bei geringen Abflüssen ist eine leichte Trübe für die Gewässer charakteristisch. Hohe Abflüsse (> 20 l/s) liefern über 70% partikulären Phosphor. Dieses Verhalten verstärkt sich mit zunehmender Hangneigung des betreffenden Gewässers. Am deutlichsten ist die Ausprägung am Hurengraben, am geringsten beim Igelsbach (WWA Ansbach, 2015).

Für alle Zuflüsse gilt, dass sie trotz fehlenden Abwassereinflusses erheblich mit Phosphor belastet sind. Dies tritt in den mittleren Werten nicht so deutlich zutage wie in den maximalen Konzentrationen, bei allen nahe oder oberhalb von 1 mg P-Gesamt/l liegen. Nach Phasen hoher Niederschläge wird somit der Igelsbachsee erheblich durch zufließenden Phosphor belastet. (WWA Ansbach, 2015)

4.2.2 Nähere Betrachtung der Igelsbachsee-Zuflüsse und deren Teileinzugsgebieten

Der Igelsbachsee besitzt fünf Hauptzuflüsse. Diese werden im Folgenden kurz beschrieben und hinsichtlich ihrer im Rahmen des Messprogramms „Fränkische Seen“

bestimmten Abflussmengen und Phosphor-Frachten charakterisiert (nach: Schwarz, 2015; WWA Ansbach, 2015):

4.2.2.1 Igelsbach (Mündung in Vorsperre)

Er besitzt das größte Einzugsgebiet der fünf Bäche und mit 45,5 % den Hauptanteil am Zufluss zum Igelsbachsee. Seine einzelnen Zuflüsse entspringen vor allem in bewaldetem Gebiet, jedoch legt er einen Großteil seiner Fließstrecke in Acker- und Grünland zurück. Sein Abfluss schwankt sehr stark zwischen Werten von wenigen Litern pro Sekunde bis hin zu 2100 l/s (maximaler Einzelmesswert) bzw. 900 l/s (gemittelter Stundenwert) während des Junihochwassers 2013.

Der Igelsbach führt sehr konstant hohe Konzentrationen an Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat mit sich. Aus diesem Grund stellt der Igelsbach mit 48,1 % beim Gesamt-Phosphor und sogar 60,3 % beim ortho-Phosphat den Hauptlieferant der P-Fracht in den Igelsbachsee dar.

4.2.2.2 Eilenbach (Mündung in Vorsperre)

Der Bach durchfließt zunächst steile Waldgebiete, anschließend mit geringem Gefälle Grünland und gelangt von Westen kommend in den Igelsbachsee. Dieser Bach fällt häufig während den Sommermonaten trocken. Auch deshalb beträgt sein Anteil am Zufluss in den Igelsbachsee im untersuchten Zeitraum nur 12,6 %.

4.2.2.3 Gänsbach (Mündung in Hauptsperre)

Er stellt mit 24,8 % vom Zufluss zum Igelsbachsee den zweitgrößten Bach im Einzugsgebiet dar. Einen Großteil seiner Strecke legt er im Wald zurück. Es wurden in der Regel Abflusswerte zwischen 2 und 20 l/s verzeichnet. Der Höchstwert liegt bei 142 l/s (gemittelter Stundenwert, Junihochwassers 2013).

Auffällig bei den bestimmten P-Gesamtkonzentrationen sind Werte, die mehr als doppelt so hoch sind, wie die höchsten Konzentrationen des Igelsbachs. Umso erstaunlicher ist, dass der gemessene ortho-Phosphat-Höchstwert nur den vierthöchsten Wert der fünf Bäche darstellt. Allgemein weist der Gänsbach meist nur sehr geringe ortho-Phosphat-Werte auf. Daher ist der Gänsbach trotz seines großen Abfluss für nur 21,8 % der ortho-Phosphat-Fracht in den See verantwortlich.

4.2.2.4 Hurengraben (Mündung in Hauptsperre)

Der Hurengraben bildet den östlichsten Zufluss des Igelsbachsees. Er fließt durch einen Auwald und liegt im Hinblick auf die Abflussmenge im untersuchten Zeitraum mit 15,2 % auf dem dritten Platz. Der Hurengraben verzeichnet beim ortho-Phosphat die geringste Fracht der fünf Zuläufe, was einem Anteil an der Gesamtfracht von nur 5,8 % entspricht.

4.2.2.5 Bach am Schellhof (Mündung in Hauptsperre)

Er besitzt ein ziemlich kleines Einzugsgebiet in starker Hanglage. Seine Besonderheit ist ein Fischteich, dessen Abfluss den Bach bildet. Auf Grund dieses Teichs fällt der Bach besonders im Sommer häufig trocken und der Abfluss des Bachs liegt bei nur etwa 1,4 % des Gesamtabflusses in den Igelsbachsee. Beim Ablassen des Fischteichs gelangen jedoch große Mengen an Nährstoffen in den See und somit werden für Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat die höchsten Konzentrationen aller untersuchten Zuläufe des Igelsbachsees erreicht. Daher übertrifft sein Anteil an der Gesamt-Fracht dieser beiden Parametern (P-Ges: 1,9 %; o-PO₄-P: 3,8 %) den Anteil des Abflusses in den Igelsbachsee deutlich.

Tabelle 8 zeigt für die fünf Hauptzuflüsse des Igelsbachsees zusammenfassend die Flächen der jeweiligen Teileinzugsgebiete, deren Flächenanteile am Gesamteinzugsgebiet und ihre Nutzungsverteilungen. Auffällig für die Teileinzugsgebiete der beiden Zuflüsse (Igelsbach und Eilenbach) zur Vorsperre sind einerseits der Flächenanteil von knapp 49,2% am Gesamteinzugsgebiet und der verhältnismäßig hohe Waldanteil von über 40%. Bei den drei Zuflüssen Gänsbach, Hurengraben und Schellhofgraben sind die Nutzungen Wald, Acker und Dauergrünland im Durchschnitt annähernd gleich verteilt (26,1 bis 29,0% Flächenanteil).

Tabelle 8: *Fläche, Flächenanteil und Nutzungsverteilung der Teileinzugsgebiete der 5 Hauptzuflüsse des Igelsbachsees*

Gewässer		Fläche [ha]	Flächen-Anteil an GEG [%]	Nutzungsverteilung [%]				
				Wald	Acker	Dauergrünland	Siedlung u. Verkehr	sonstige Nutzung
Gesamtfläche Bach-EG Igelsbachsee		1084,4	-	-	-	-	-	-
Vorsperre Bach-EG	Igelsbach	539,4	37,7	44,5	25,3	20,8	6,6	2,7
	Eilenbach	164,5	11,5	40,2	32,8	19,7	5,0	2,3
Igelsbachsee Bach-EG	Gänsbach	234,7	16,4	29,0	26,0	26,8	12,2	6,1
	Hurengraben	115,9	8,1	23,0	31,2	33,3	4,6	7,9
	Schellhofgraben	29,9	2,1	15,5	39,4	29,9	7,3	7,9
Sonstige EG, direkte Einleitungen		346,3	24,2	-	-	-	-	-
Gesamtes EG Igelsbachsee		1430,8	100,0	-	-	-	-	-

In Tabelle 9 sind zudem nochmals alle relevanten Daten der fünf Hauptzuflüsse zu Fläche, Zufluss und eingebrachter Nährstofffracht aufgeführt. Der Igelsbach und der Eilenbach entwässern direkt in die Vorsperre. Durch sie gelangen 58,5% des Zuflusses und ein ähnlich hoher Anteil des bestimmten Gesamt-Phosphors (57,7%) zunächst in die Vorsperre des Igelsbachsees. Allerdings wird mit 68,6% des eingebrachten ortho-Phosphats durch diese beiden Bäche der Großteil dieses gelösten und schnell verfügbaren Nährstoffes eingetragen.

Tabelle 9: *Anteil der Igelsbachseezuflüsse am Gesamtabfluss und an den Gesamt- und ortho-Phosphat-P-Frachten (teilweise nach Daten WWA Ansbach)*

Gewässer	Zufluss-Anteil	Nährstofffracht-Anteil * [%]	
		P gesamt	o-PO4-P
Igelsbach	45,5	48,1	60,3
Eilenbach	13,0	9,6	8,3
Vorsperre gesamt		55,7	68,6
Gänsbach	24,8	30,4	21,8
Hurengraben	15,2	10,1	5,8
Schellhofgraben	1,4	1,9	3,8
Igelsbachsee gesamt		42,4	31,4

*: Anteil der Igelsbachseezuflüsse an den bestimmten Gesamtnährstofffrachten (Messprogramm "Fränkische Seen" 2012-2014; WWA Ansbach)

Ein Grund für vergleichsweise hohe ortho-Phosphat-Frachten könnte ein verhältnismäßig großer Anteil an drainierten, landwirtschaftlich genutzten Flächen (sowohl Acker als auch Dauergrünland) im entsprechenden Einzugsgebiet sein.

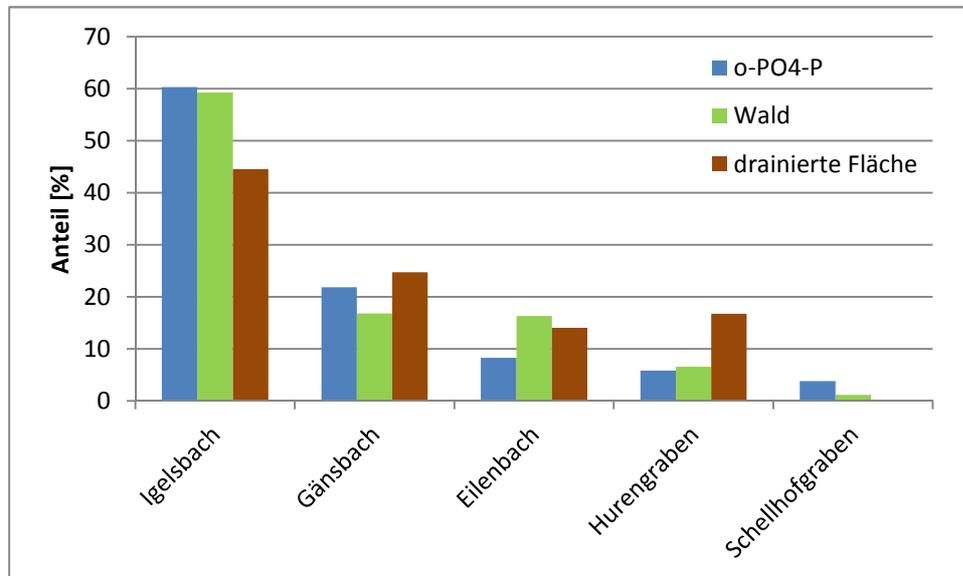


Abbildung 11: *Wald- und Drainageflächenanteil der Bacheinzugsgebiete an der Gesamtfläche der Bacheinzugsgebiete des Igelbachsees im Vergleich zum jeweiligen ortho-Phosphat-Anteil*

Diese Hypothese wird für die Einzugsgebiete des Igelbachs, Eilenbachs und Gänsbachs bestätigt: mit Abnahme des Anteils der drainierten landwirtschaftlichen Fläche nimmt auch der Anteil der ortho-Phosphat-Fracht der einzelnen Bacheinzugsgebiete ab (vgl. Abb.11). Für die Einzugsgebiete des Eilenbachs und Gänsbachs sind die Anteile an drainierter Fläche und an der ortho-Phosphat-Fracht annähernd gleich. In diesen beiden Einzugsgebieten sind ca. 60% der drainierten Fläche unter Ackerland und ca. 40% unter Grünland vorzufinden. Das Einzugsgebiet des Igelbachs weist im Vergleich zu seinem hohen ortho-Phosphat-Anteil jedoch einen wesentlich geringeren Prozentsatz an drainierter Fläche auf (60% ortho-Phosphat; 45% drainierte Fläche). Auffällig ist hier der verhältnismäßig hohe Anteil von drainierten Ackerflächen (80%) gegenüber drainiertem Dauergrünland (20%). Das Einzugsgebiet des Hurengrabens weist einen noch höheren Anteil an drainierten Ackerflächen (ca. 90%) als das des Igelbachs auf. Die Anteile an der ortho-Phosphat-Fracht sind jedoch mit nur 5,8% sehr gering. Der wesentliche Unterschied zum Igelbach-Einzugsgebiet liegt in der Lage und der Einleitung der Drainagen in die Vorfluter. Beim Hurengraben befinden sich ca. 2/3 der drainierten Fläche auf der Hochfläche. Das gesamte Dränwasser wird hier nicht direkt in den Vorfluter, sondern zunächst in ein kleines Waldgebiet geleitet. Zudem legt der Hurengraben den Großteil seiner Fließstrecke in einem Au-

wald zurück. Hieraus ergeben sich vielfältige Möglichkeiten des ortho-Phosphat-Entzuges (z.B. durch ortho-P-Aufnahme von Pflanzen/Organismen) auf dem Weg von der Fläche bis hin in den Igelsbachsee. Der Igelsbach und seine Zuflüsse hingegen finden ihren Ursprung hauptsächlich in bewaldetem Gebiet. Im weiteren Verlauf fließt er durch stark landwirtschaftlich genutztes Gebiet. Dort entwässern die Drainagen z.T. auch direkt in die Vorfluter.

Nach den Ergebnissen des Dauerfeldversuchs des AELF Traunstein wird der Phosphoraustrag aus den Drainagen auch vom Bodentyp und seinen spezifischen Eigenschaften beeinflusst: Je höher der Boden einer landwirtschaftlichen Fläche mit Phosphor versorgt ist, je geringer die Phosphorspeicherkapazität und je höher der Phosphorsättigungsgrad des Bodentyps in den verschiedenen Schichten ist, desto weniger Phosphor kann im Boden gebunden werden und desto höher wird das Austragsrisiko (AELF Traunstein, 2013). Nach Wallrapp (2011) waren in den Jahren 2004 bis 2009 42 % der Ackerflächen der Gemeinde Haundorf hoch bzw. sehr hoch mit Phosphor versorgt. In den Gemeinden Spalt und Absberg lagen die Anteile der hoch und sehr hoch versorgten Ackerflächen mit 53 % bzw. sogar 74 % noch deutlich höher.

Bei der Beurteilung und zur Einschätzung des Beitrags von Drainagen und den durch diese eingetragenen Nährstofffrachten einzelner Einzugsgebiete sollten daher folgende Punkte beachtet werden:

- Anteile und Verhältnis von drainierten Acker- und Dauergrünlandflächen
- Lage der Drainageflächen und Einleitung in Vorfluter (direkte Einleitung oder Entkoppelt, am Ursprung des Vorfluters oder erst in weiterem Verlauf)
- Möglichkeit des Nährstoff-Entzuges im Anschluss des Drainageauslasses oder auf der Fließstecke (z.B. durch stark nährstoffzehrende Vegetation)
- Gehalts- bzw. Versorgungsstufen der drainierten Flächen
- Vollständige Funktionsfähigkeit der Drainage/des Drainagesystems

Die Ursache für die deutlichen Unterschiede der ortho-Phosphat-Frachten der einzelnen Bacheinzugsgebiete ist folglich eine Kombination von mehreren, unterschiedlichen Faktoren. Möglicherweise besteht auch ein Zusammenhang zwischen Waldfläche und der ortho-Phosphat-Fracht des Einzugsgebietes (vgl. Abb. 11). In Wäldern findet, solange keine dauerhafte Nutzung und entsprechende hohe Abfuhr in Form von Holz stattfindet, eigentlich eine allmähliche Akkumulation von Nährstoffen und Humus im Boden statt. Durch Regenereignisse kann es jedoch auch im Wald zum Leaching-Effekt (Auswaschung von Nährstoffen und Spurenelementen aus Blättern und Böden) kommen. Ebenso ist Interflow (erdoberflächennaher und annähernd oberflächenparalleler Zwischenabfluss) denkbar. Dabei kann das Niederschlagswasser schnell in die obersten Bodenschichten infiltrieren. Durch Bereiche im Boden mit geringerer Durchlässigkeit wird das Sickerwasser im Folgenden gestaut. Es sickert nicht mehr senkrecht weiter nach unten bis zum Grundwasser, sondern fließt auf der

Oberfläche des dichteren Substrats ab. Meist erfolgt ein rascher Abfluss in die Vorfluter. Zudem können durch den Interflow (gelöste) Nährstoffe aus dem Waldboden ausgetragen und somit in Bäche und Seen eintragen werden. Daher sollten die großen Waldflächen des Projektgebiets nicht unbeachtet bleiben und in der Maßnahmenplanung ebenfalls Berücksichtigung finden.

4.3 Detaillierte Darstellung von Niederschlags-, Abflussmenge und der Nährstofffrachten des Igelsbachs bei ausgewählten Einzelereignissen

Anhand der vom WWA Ansbach zur Verfügung gestellten Daten des Messprogramms „Fränkische Seen“ konnten für den Igelsbach Einzelereignisse hinsichtlich Niederschlags-, Abflussmenge, Gesamtposphor- und ortho-Phosphatkonzentration detailliert aufgelöst werden.

4.3.1 Winterereignis

In den Abbildungen 12 und 13 sind zwei, unmittelbar auseinander folgende Niederschlagsereignisse dargestellt. Vor Beginn des ersten Niederschlags am 19.01.2012 hatte es 8 Tage lang nicht geregnet. Der Boden sollte nicht gesättigt gewesen sein und der Igelsbach zeigte nur einen geringen Abfluss von 13 l/s. Zunächst viel leichter Regen mit 0,5 - 1,5 l/m² in der Stunde. Der Abfluss des Igelsbachs stieg zeitverzögert bis auf 100 l/s an. In der Folgezeit führte eine Steigerung der Regenintensität auf 3,2 l/m² bzw. 5,3 l/m² in der Stunde zu einem um ca. 2 Stunden versetzten, jedoch sehr deutlichen Anstieg des Abflusses auf 320 bzw. 780 l/s. Der Abfluss des Igelsbachs fiel mit nachlassender Niederschlagsmenge jedoch immer wieder recht schnell. Eine weitere Steigerung der Regenintensität am frühen Morgen des 20.01.2012 auf 2,7 l/m² in der Stunde zeigte nun bereits nach einer Stunde eine deutliche Erhöhung des Abflusses (vgl. Abb. 12). Während des in Abbildung 5 dargestellten Ereignisses fielen insgesamt 33,5 l/m² Regen.

Betrachtet man die Entwicklung der Gesamtposphorkonzentrationen während dieses Ereignisses, so fällt zunächst auf, dass bereits die vergleichsweise geringe Erhöhung des Abflusses von 13 l/s auf ca. 80 l/s zu einer deutlichen Erhöhung der P-Ges-Konzentration von 0,12 auf 0,88 mg/l führt. In der Folge konnte bei weiter steigendem Abfluss des Igelsbachs eine P-Ges-Konzentration von 1,5 mg/l bestimmt werden. Mit abnehmendem Abfluss sinken auch die bestimmten P-Ges-Konzentrationen (vgl. Abb. 12).

Zudem kann man gut erkennen, dass die aus 24h-Mischproben erhaltenen P-Ges-Konzentrationen wirklich nur Näherungswerte liefern und von den Einzelwerten der bestimmten Maxima (und auch Minima) deutlich abweichen können. Berechnungen und Abschätzungen auf Grund von langfristigen Mischproben können somit wesentlich niedrigere (oder auch höhere) Werte liefern. Daher ist die Verfügbarkeit von zeitlich nah aufgelösten Messwerten für die Beurteilung von den meist nur kurzfristig und zeitlich eng begrenzt auftretenden Niederschlags-/ Starkregenereignissen von großer Bedeutung, um verlässliche Aussagen treffen zu können.

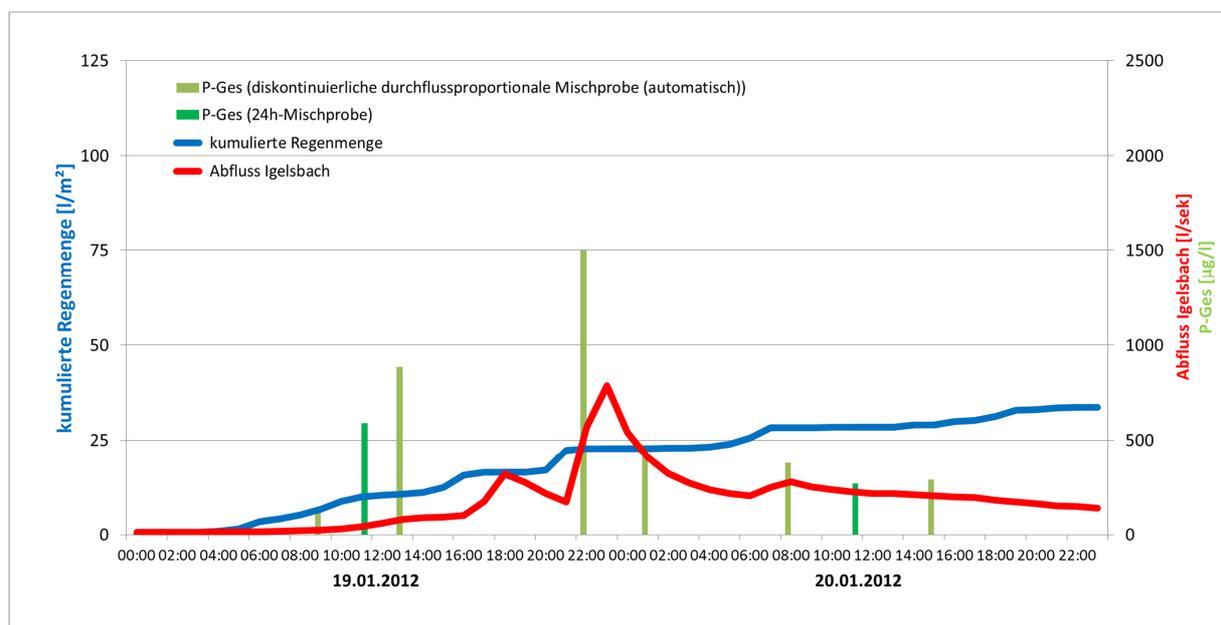


Abbildung 12: *Beziehung zwischen Niederschlag, Abfluss und Gesamtposphorkonzentration des Igelsbachs am 19./20.01.2012*

Bei dem nach 9 Stunden Regenpause nachfolgenden Niederschlagsereignis am 21.01.2012 ist der Abfluss des Igelsbachs zunächst noch am Fallen. Erst mit 7-stündiger Verzögerung steigt die Abflussmenge nach 5,5 l/m² Regen innerhalb von 2 Stunden von 118 l/s auf 591 l/s schnell und deutlich an. Eine Zunahme der Niederschlagsintensität (3,2 l/m² in 2 Stunden) hat in der Folge jedoch eine mehr oder weniger direkte Erhöhung der Abflussmenge auf 800 l/s zur Folge (vgl. Abb. 13).

Auch hier kann eine Erhöhung der P-Ges-Konzentration mit zunehmendem Abfluss und eine Verringerung der Konzentration bei fallendem Abfluss erkannt werden (vgl. Abb. 13). Es werden jedoch deutlich niedrigere P-Ges-Konzentrationen bei ähnlich hohen Abflüssen im Vergleich zu vorherigen Niederschlagsereignis erreicht.

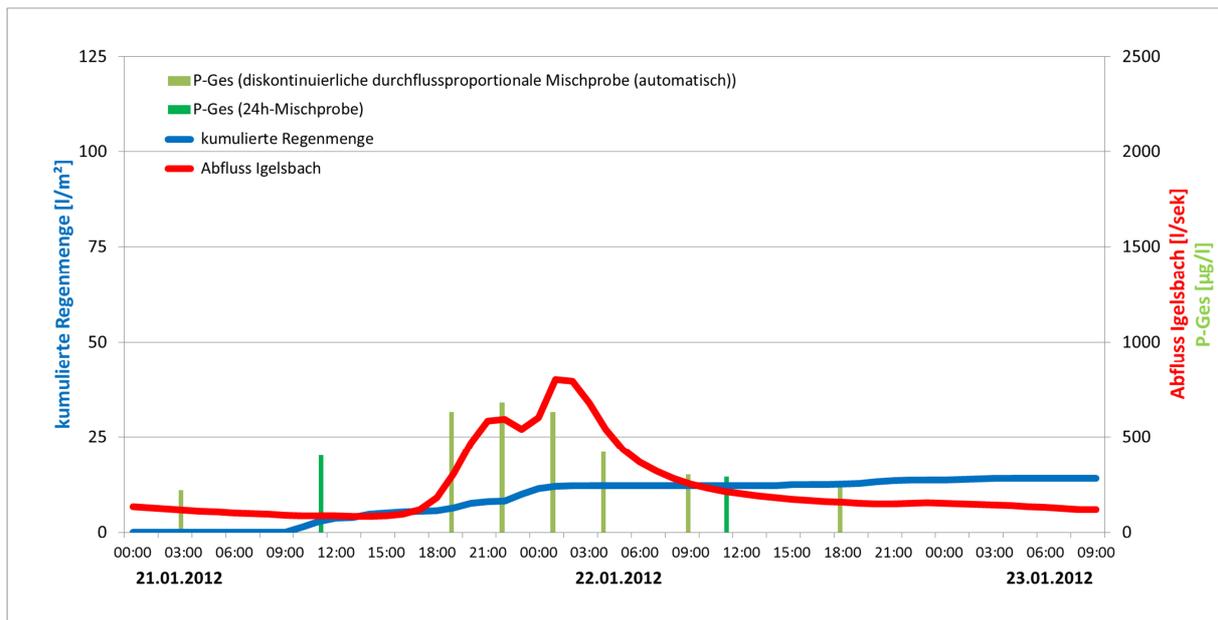


Abbildung 13: *Beziehung zwischen Niederschlag, Abfluss und Gesamtposphorkonzentration des Igelsbachs am 21./22./23.01.2012*

4.3.2 Sommerereignis

Dem im Folgenden betrachteten Starkregenereignis am 10.06.2013 gingen in den vorherigen Wochen bereits mehrere andere Niederschlagsereignisse voraus. Am 30./31.05.13 fielen innerhalb von 27 Stunden 44l/m², was zu einem Maximalabfluss des Igelsbachs von 1085 l/s führte. Am 02./03.06.13 kamen nochmals 19,4l/m² in 16 Stunden zusammen. Dies ließ den Abfluss des Igelsbachs wieder stark auf 1055 l/s ansteigen. In den anschließenden 6 Tagen fiel kein Niederschlag. Die Böden müssten zu Beginn des Starkregenereignisses am 10.06.2013 noch angefeuchtet gewesen sein, um gleich etwas Wasser aufnehmen zu können. Andererseits waren sie auf Grund der vorherigen Niederschläge wahrscheinlich auch schon nahezu vollständig aufgesättigt, so dass nur ein geringer Teil des Niederschlags auch wirklich infiltrieren konnte.

Am 10.06.2013 fielen innerhalb von 17 Stunden 56,7 l/m² Regen. 36,9 l/m² davon allein in den ersten 7 Stunden. Der Abfluss des Igelsbachs stieg innerhalb der ersten 8 Stunden des Niederschlagsereignisses lediglich von 28 l/s auf 127 l/s an. In den folgenden 2 Stunden stieg der Abfluss sprunghaft um mehr als das 15-fache auf über 2000 l/s an und blieb über 2 Stunden auf diesem sehr hohen Niveau. Anschließend nahm der Abfluss relativ schnell wieder ab (vgl. Abb. 14).

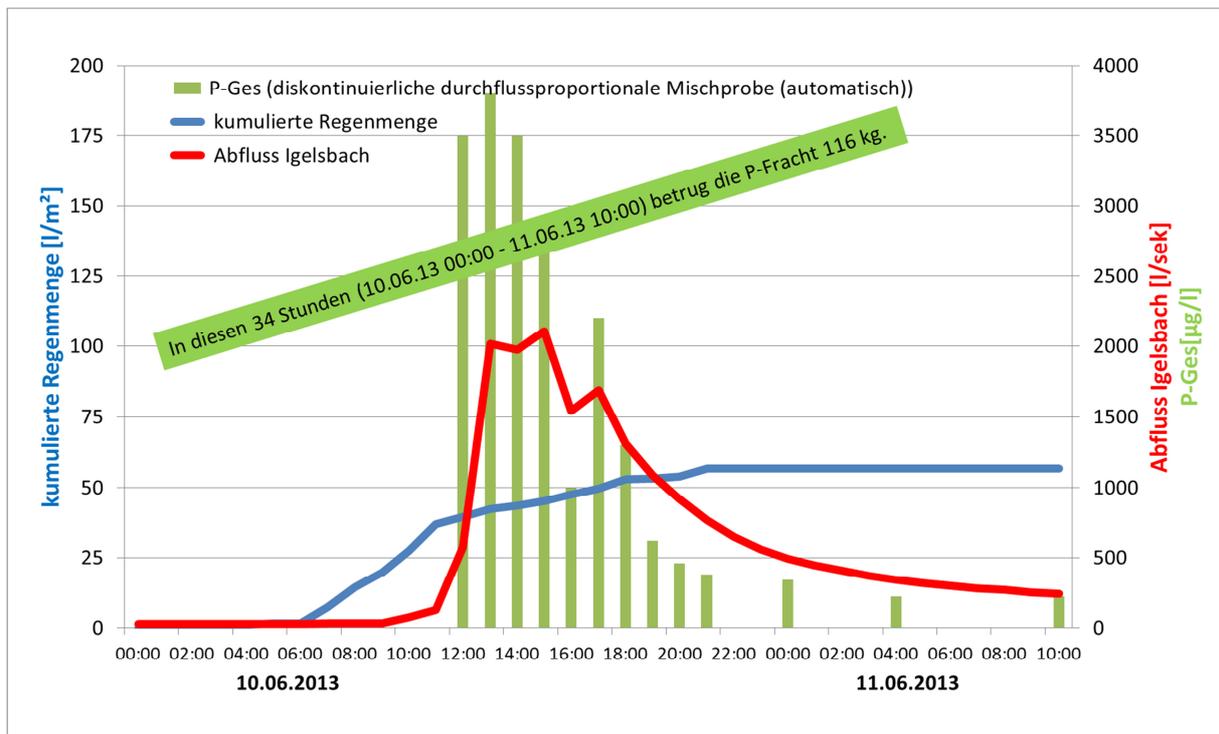


Abbildung 14: *Beziehung zwischen Niederschlag, Abfluss und Gesamtposphorkonzentration des Igelsbachs am 10./11.06.2013*

Die Entwicklung der Gesamt-Phosphorkonzentration während dieses Ereignisses ist, wie schon bei den zuvor betrachteten Winter-Ereignissen, eng mit der Abflusshöhe korreliert. Bei diesem Ereignis wurden sehr hohe Abfluss- und somit auch extrem hohe P-Ges-Konzentrationen von bis zu 3,8 mg/l (vgl. Abb. 14). Aus den aufgezeichneten Abflussmengen und den zugehörigen P-Ges-Konzentrationen konnte eine P-Fracht von 116 kg Phosphor für dieses Ereignis berechnet werden (vgl. Abb. 14). In den Jahren 2012 – 2014 wurden im Mittel 280 kg Phosphor pro Jahr in den Igelsbachsee eingetragen. Durch dieses eine Ereignis im Juni 2013 wurde somit fast die Hälfte der durchschnittlichen P-Jahresfracht allein durch den Zufluss aus dem Igelsbach in den Igelsbachsee eingetragen. Dies zeigt wiederum, dass große Einzelergebnisse, wie das hier beschriebene, enorme Abflussmengen und Nährstofffrachten in die betroffenen Flüsse und Seen einbringen, die ohne ein engmaschiges und zeitlich hoch aufgelöstes Messnetz nicht exakt erfasst werden und somit auch nur unzureichend quantifiziert werden können.

Auf Grund der deutlichen Korrelation zwischen Abflussmenge und P-Ges-Konzentration könnte eine ähnliche Beziehung auch für das gelöste ortho-Phosphat vermutet werden. Betrachtet man Abbildung 15, so kann kein Einfluss der Abflussmenge auf die o-PO₄-Konzentration erkannt werden. Die o-PO₄-Konzentration bleibt während des betrachteten Starkregenereignisses mehr oder weniger die gesamte

Zeit über konstant und bildet kein deutliches Maximum aus (vgl. Abb. 14). Die gemessenen Konzentrationen unterscheiden sich nicht deutlich von den sonst bestimmten Konzentrationen. Daraus lässt sich ableiten, dass der Eintrag von ortho-Phosphat in die Bäche und Seen nicht direkt an Niederschlagsereignisse gekoppelt ist.

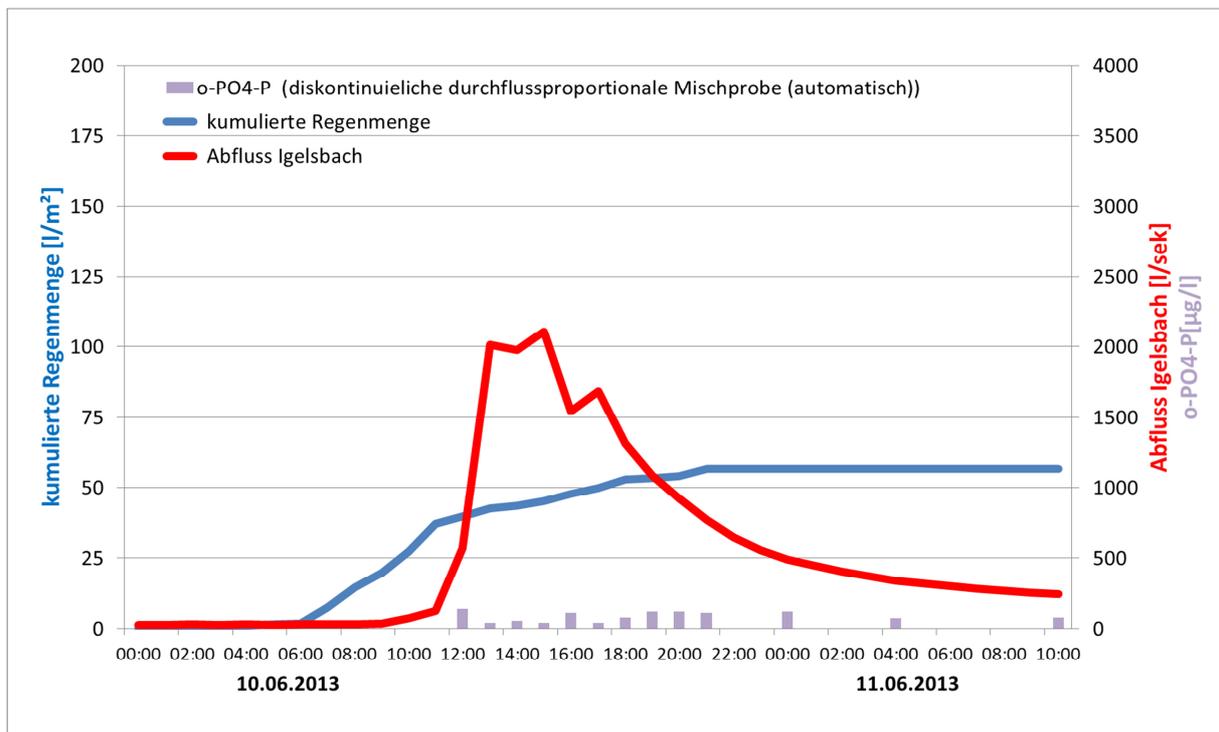


Abbildung 15: *Beziehung zwischen Niederschlag, Abfluss und ortho-Phosphatkonzentration des Igelsbachs am 10./11.06.2013*

Auf Grund der zuvor beschriebenen Ergebnisse kann zusammenfassend gesagt werden:

- Geringe Niederschlagsmengen führen nur zu stark zeitverzögerter und mäßiger Erhöhung des Abflusses
- Kurzzeitige Steigerungen der Niederschlagsintensität führen - zunächst auch zeitverzögert - zu schnell ansteigenden Abflüssen
- Bei nachfolgenden Niederschlägen kommt es auf Grund der Aufsättigung des Bodens zu einer Verringerung der Zeitverzögerung und einer schnelleren Erhöhung des Abflusses
- Die Entwicklung der P-Ges-Konzentration verläuft analog zu der Abflussmenge – steigender Abfluss bedeutet steigende P-Ges-Konzentrationen bis zur

maximalen Abflusshöhe, anschließend sinken die P-Ges-Konzentrationen mit fallender Abflussmenge

- Die höchsten P-Ges-Konzentrationen und somit P-Frachten werden bei mehreren, direkt aufeinander folgenden, beim ersten Ereignis gemessen
- Die ortho-Phosphat-Konzentration korreliert nicht direkt mit der Abflussmenge
- Der Eintrag von ortho-Phosphat in die Bäche und Seen ist somit nicht direkt an Niederschlagsereignisse gekoppelt
- Die Grundfracht der durch die Bäche eingetragenen Menge an ortho-Phosphat wird möglicherweise durch Interflow, Drainagen und Grundwasser bestimmt/gebildet.

4.4 Erosionsgefährdung der Böden

Die Böden der beiden näher betrachteten Gebiete um Igelsbach weisen relativ niedrige Bodenzahlen und verhältnismäßig geringe nutzbare Feldkapazitäten mit geringer Wasserspeicherkapazität auf. Durch größere Niederschlagsmengen kann es dort schnell zu einer Wassersättigung der Böden und in deren Folge zu Oberflächenabfluss kommen.

Anlage 2a zeigt den, nach ABAG interaktiv berechneten, mittleren langjährigen Bodenabtrag der Ackerflächen des Projektgebiets. Über die Hälfte der Ackerflächen (121 Flächen, 229,0 ha) weist einen Bodenabtrag von bis zu 5 t/(ha*a) auf. Auf 75 Schlägen mit einer Fläche von 173,1 ha beträgt der Abtrag zwischen 5 und 10 t/(ha*a). Der langjährige Abtrag von 32 Flächen (23,2 ha) liegt teils deutlich darüber und kann erosionsbedingte Abträge bis zu 25 t/(ha*a) erreichen (vgl. Tabelle 10). Die Flächen mit hohen und sehr hohen Bodenabträgen verteilen sich mehr oder weniger gleichmäßig über das gesamte Projektgebiet und sind nicht nur punktuell auf einen bestimmten Teilbereich konzentriert. Auch Wallrapp (2011) kam bei seinen Berechnungen auf eine ähnliche Verteilung der unterschiedlichen Bodenabträge. Die höchsten Abtragswerte weisen Flächen mit starken Neigungen (bis zu 20%) auf. Die bereits bei der Kartierung im Gelände vorgenommene, optische Einstufung einiger Flächen als besonders erosionsanfällig, wird durch die Berechnung mit ABAB interaktiv bestätigt.

Betrachtet man die Toleranzüberschreitung (Toleranzgrenze – berechneter mittlerer langjähriger Bodenabtrag, nach ABAG interaktiv) des Bodenabtrags so zeigt sich, dass über 50% der Flächen (117 Flächen, 168,4 ha) innerhalb des Toleranzbereichs

liegen. Bei circa einem Drittel der Flächen (151,2 ha) werden jährlich im Durchschnitt bis zu 5 t Boden/(ha*a) abgetragen. Auf 27 Flächen (51,3 ha) beträgt die berechnete Toleranzüberschreitung des Bodenabtrags zwischen 5 und 10 t/(ha*a). 10 Flächen (18,4 ha) weisen sogar eine Toleranzüberschreitung von über 10 bis maximal 19,9 t/(ha*a) auf (vgl. Tab. 10, Anlage 2b), was etwa dem 3- bis 5-fachen des für die Einzelflächen noch tolerierbaren Bodenabtrags entspricht.

Tabelle 10: Berechneter Bodenabtrag und Toleranzüberschreitung des Bodenabtrags der Ackerflächen des Igelsbachsee-Einzugsgebiets unterteilt nach Bodenabtragsklassen

	berechneter Bodenabtrag* [t/(ha*a)]		Toleranzüberschreitung** [t/(ha*a)]	
	Flächenzahl	Fläche [ha]	Flächenzahl	Fläche [ha]
>10t/(ha*a)	32	23,2	10	18,4
5,1 - 10t/(ha*a)	75	137,1	27	51,3
0 - 5t/(ha*a)	121	229,0	74	151,2
innerhalb Toleranzbereich	-		117	168,4

*nach ABAG interaktiv; **Toleranzüberschreitung = Toleranzgrenze – berechneter Bodenabtrag

Abgesehen vom erosionsbedingten Nährstoffeintrag in die Gewässer ist das Ausmaß der Bodenumlagerung auf einigen Feldern selbst Besorgnis erregend. Bei einer 3- bis 5-fachen Überschreitung des zulässigen, tolerierbaren Bodenabtrags ist es sehr unwahrscheinlich, dass allein durch Änderung in der Bewirtschaftung die Toleranzgrenze eingehalten werden kann (nach Wallrapp, 2011).

Wallrapp (2011) kam auf Grund seiner Berechnungen zu dem Schluss, dass durch die Begrenzung des übermäßigen Bodenabtrags auf den noch tolerierbaren, zulässigen Abtrag, der erosive Phosphoraustrag von den Ackerflächen in die Gewässer um fast 37% reduziert werden könnte.

5 Bewertung

Der Igelsbachsee wirkt als Stausee wie ein großes Absetzbecken. Besonders partikulär gebundene Phosphorverbindungen können sich dort absetzen und können damit durch Umsetzungsprozesse in den biologischen Kreislauf gelangen. Das lösliche ortho-Phosphat, das in den See gelangt, wird im Sommer als Nahrungsquelle genutzt. Die absterbenden Organismen sinken ab und wirken so zusätzlich als Nährstoffspeicher. So findet allmählich eine Akkumulation von Phosphor statt. Mit jedem weiteren Phosphoreintrag wird die Gefahr größer, dass der See eine eigene Phosphordynamik entwickelt, die nicht mehr von den direkten Einträgen abhängig ist. Ziel sollte es sein, die vermeidbaren Einträge zu verhindern. Eine möglichst genaue Kenntnis der Ursachen des Phosphoreintrags ist dabei Voraussetzung.

5.1 P-Eintrag aus nicht landwirtschaftlichen Quellen

Eine Belastung der Zuläufe und des Sees durch gereinigtes Abwasser kann auf Grund der Anbindung der anliegenden Ortschaften an die Zentralkläranlage Pleinfeld ausgeschlossen werden.

Der Einfluss von vier Regenüberläufen auf die in den See eingetragene Nährstoffmenge ist von untergeordneter Bedeutung (Krauß, 2008; WWA Ansbach, 2015).

Der Fischteich im Einzugsgebiet des Grabens am Schellenhof stellt ein großes Rückhalte- und Absetzbecken für dieses ziemlich kleine Einzugsgebiet dar. Beim jährlichen Ablassen des Fischteichs allerdings gelangt ein Großteil des durch Fütterung der Fische und des über das Jahr aus dem Einzugsgebiet eingetragenen Phosphors durch den Austrag des phosphorhaltigen Schlamms direkt und auf einen Schlag in den Igelsbachsee.

39% der Fläche des Einzugsgebiets des Igelsbachsees sind mit Wald bedeckt. Nach Berechnungen von Wallrapp (2011) sind diese 550 ha Waldfläche lediglich für 3% des Gesamteintrags an Phosphor in den Igelsbachsee verantwortlich. Hier wurde nur der Austrag aus der Waldstreu berücksichtigt. Weitere denkbare Effekte wie das bereits dargestellten Leaching oder der Interflow wurden nicht erfasst und diskutiert. Daher sollten unbedingt gezielte Untersuchungen und Messungen hinsichtlich des Phosphor-Austrages aus den Wäldern in die Bäche erfolgen, um belastbare Werte zu erhalten und ggf. Maßnahmen zur Reduzierung dieser Phosphor-Einträge zu erarbeiten und umzusetzen. (*z.B. Bestimmung der Ges-P-/ortho-Phosphat-Konzentrationen an Quellen im Wald und beim Verlassen des Waldes.*)

5.2 P-Eintrag aus Drainagen

Viele und gerade größere Drainageflächen liegen an den oberen Hanglagen. Diese Flächen sind größtenteils nicht eben, sondern geneigt, weswegen das Wasser eigentlich unter normalen Umständen ohne Dränung von allein abfließen sollte. Im Talgrund, wo die Entwässerung normalerweise erwartet wird, ist die Dränfläche hingegen vergleichsweise gering. Insgesamt sind zirka 90 ha (entspricht etwa 16 %) der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Projektgebiets drainiert. Von der drainierten Fläche entfallen dabei 68 % auf Acker- und 32 % auf Dauergrünland. Wallrapp (2011) berechnete die Höhe des Phosphoreintrags durch Drainagen in den Igelsbachsee auf 3 - 4 % des Gesamteintrages. Grundsätzlich haben die Höhe des aufgebrauchten Wirtschaftsdüngers und die Versorgungsstufe der Böden einen Effekt auf die Höhe des Nährstoffaustrages auch von Drainageflächen. Unter Berücksichtigung der flächendeckend hohen bzw. sehr hohen Versorgung der Böden mit Phosphor, sollten auch hier gezielt Phosphorkonzentrationen der Dränwässer untersucht werden, um belastbare Daten zu erhalten und die tatsächlichen Einträge aus Drainagen in den Igelsbachsee quantifizieren zu können.

Ein wesentlicher Einflussfaktor auf den Austrag von Phosphor aus Drainagen ist in der Ausbringung von Gülle zu einem ungünstigen Moment zu sehen. Natürlich kann kein Landwirt Starkregen vorhersagen, eine kurzfristige Berücksichtigung der Wetterprognosen kann jedoch vermeidbaren Austrag verhindern. Dippolder und Raschbacher (2010) haben, wie Abbildung 16 zeigt, nachgewiesen, wie Gülleapplikation zu verstärktem Austrag von Phosphor auch bei drainiertem Grünland führen kann.

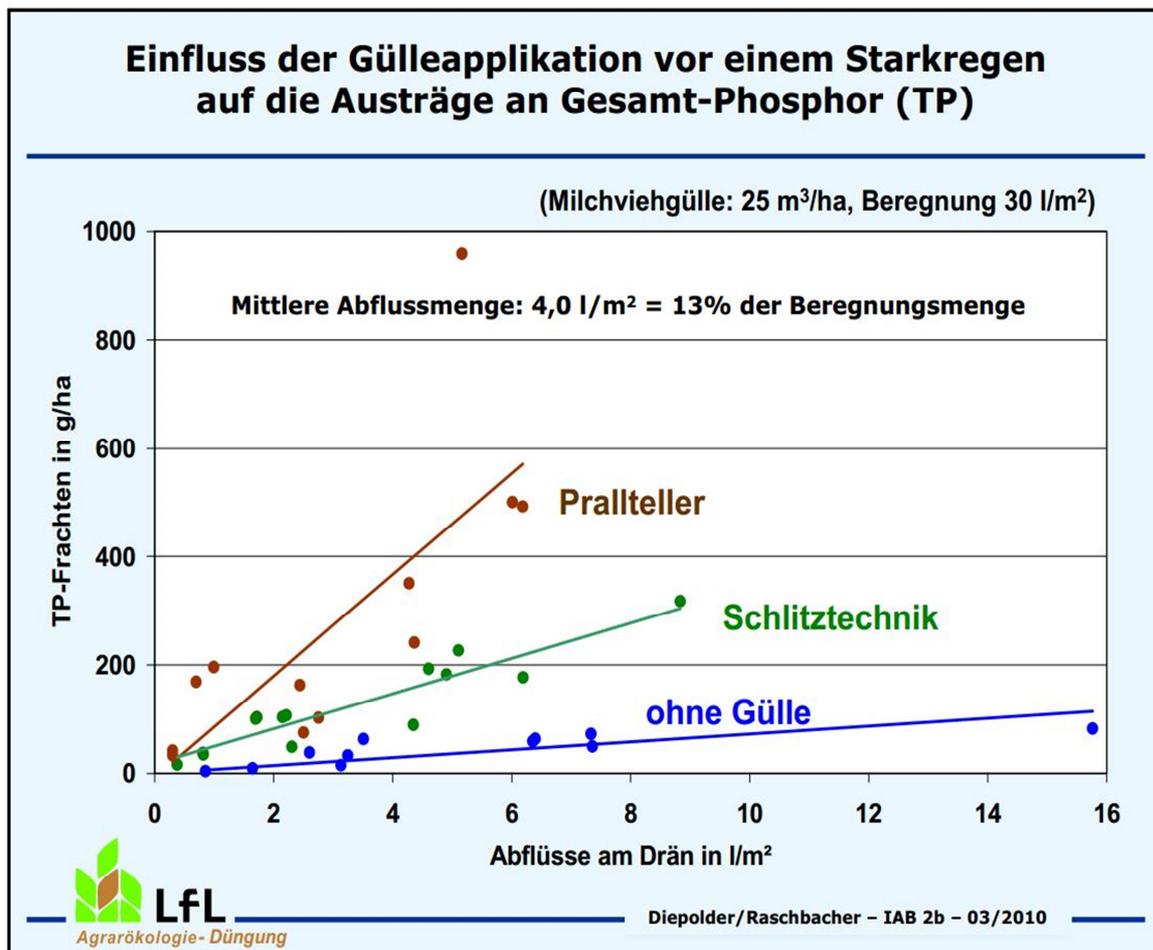


Abbildung 16: *Phosphoraustrag nach Starkregen unter Grünland*

Vor diesem Hintergrund muss auch eine Gülleausbringung im Herbst als kritisch angesehen werden, da im Winter die Sickerrate und damit die Verlagerung in Richtung Drainagen steigt.

In den belüfteten Drainagen findet der Transport durch den Ausfall des Phosphor zusammen mit Eisen hauptsächlich in partikulärer Form („Eisenschlamm“) statt. Die Partikel unterliegen dabei der Abflusssdynamik der Fließgewässer und werden bevorzugt bei anschwellender Strömung (auflaufendes Hochwasser) transportiert. Um zu vermeiden, dass die Ausfällungen direkt in die Fließgewässer gelangen, müssten Nährstofffallen an den aktiven Drainagenausläufen installiert werden. Diese Ausläufe müssten zurückverlegt und der Auslaufbereich eingetieft werden, um dort einen möglichst breiten, durchlüfteten und bewachsenen Ablaufbereich zu schaffen. Der Flächenbedarf wird je Auslauf auf ca. 300 – 500 m² geschätzt.

5.3 P-Eintrag aus Ackerflächen

Der Bodenabtrag von Ackerflächen durch niederschlagsbedingte Flächenerosion wird sowohl von Wallrapp (2011) als auch bei den Untersuchungen im Einzugsgebiet des Eixendorfer Sees (Bayerische LfL, o.J.) als Hauptquelle für die in Gewässer eingetragene Phosphorfracht angesehen. Wallrapp (2011) schreibt der Flächenerosion 74% an der Gesamtposphorfracht in den Igelsbachsee zu. Da der tatsächliche Bodenabtrag im Wesentlichen von einzelnen Abschwemm-Ereignissen und dem aktuellen Bewuchs abhängt, ist eine Prognose oder eine Gebietsbilanzierung nur eine Annäherung an die Realität.

Ein wesentlicher Anteil der Ackerflächen (361 ha) – dies entspricht 93% aller Ackerflächen im Projektgebiet - ist in Hinsicht auf einen erosiven Abtrag (Bodenabtrag $> 2 \text{ t}/(\text{ha} \cdot \text{a})$) gefährdet. Der überwiegende Teil dieser Äcker (254 ha), ist direkt oder mittels Gräben an die Vorfluter angeschlossen (vgl. Anlage 2c). Dadurch kann sich der Transport durch zeitweises Absetzen der schwereren Sedimente verzögern, die tonhaltigen Trübstoffe jedoch, die auch die höchsten Anteile an Phosphor enthalten (LfULG Sachsen, 2012), fließen mit dem Abfluss direkt in die Gewässer ab.

Besonders anfällig für Bodenerosion sind spät gesäte Winterkulturen, Mais und Winterfurchen, insbesondere wenn nicht hangparallel gepflügt wurde. Ganzjährige Bedeckung eines Ackers stellt in Hinsicht auf Erosion den besten Schutz dar (Dauerkulturen, Ackerfutter, überwinternde Zwischenfrüchte). Mittlerweile sind dank des Klimawandels so lange Vegetationszeiten üblich, dass Zwischenfrüchte angebaut werden können.

Ein Teil der erosionsgefährdeten Ackerflächen ist auch drainiert, so dass sich gelöster (überwiegend aus Drainage) und partikulär transportierter Phosphor (Erosion) nicht trennen lassen. Soweit möglich wurde bei der Kartierung des Grabensystems nach Herkunft des Abflusses unterschieden.

6 Maßnahmen

Auf Basis des Bewertungsplan ergibt sich primär, sinnvolle Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen umzusetzen, damit der Austrag von Nährstoffen vermieden werden kann. In erster Linie kommen boden- und nährstoffbewahrende Maßnahmen dem Landwirt und seinen Flächen zu Gute. Daher sollte das Interesse groß sein, die wertvollen Nährstoffe auf den Flächen zu behalten. Folgende Bewirtschaftungsmaßnahmen empfehlen sich, um den Austrag von Phosphor zu minimieren:

- Aktualisierung der Bodenuntersuchungen und Beachtung der Versorgungsstufen hinsichtlich der Phosphordüngung: Stufe C: Düngung in Höhe des Entzugs; Stufe D: Reduzierung der Düngung um 50 %; Stufe E: keine Düngung (vgl. LfL, 2018)
- Umstellung auf biologische Bewirtschaftung (KULAP B10)
- Witterungsangepasste und emissionsarme Gülleausbringung (KULAP B25/26)
- Extensivierung von Grünland (KULAP B30)
- Verbreiterung von Gewässer- und Erosionsschutzstreifen von den in Zukunft wahrscheinlich gesetzlich vorgeschriebenen 5 Metern auf eine effektive und effiziente Breite von mindestens 15 Metern (KULAP B32/33, B34)
- ganzjährige Bodenbedeckung durch Haupt- und Zwischenfrüchte (KULAP B35)
- Winterbegrünung mit Wildsaaten (B36)
- Reihenkulturen in Mulch-, Streifen- oder Direktsaat (KULAP B37, B38)
- Verzicht auf Intensivfrüchte (KULAP B39)
- hangabwärts gerichtete Pflugfurchen vermeiden
- Greening-Auflagen für erosionsmindernde Maßnahmen einsetzen (z.B. Zwischenfruchtanbau, Randstreifen, Stilllegung)

Auf Grund der Lage der austragsgefährdenden Flächen ergeben sich strukturelle „Brennpunkte“, bei denen Handlungsbedarf besteht. Diese sind in nachfolgender Tabelle (Tab. 11) zusammengefasst und in Anlage 4 als Maßnahmenplan dargestellt.

Darüber hinaus werden in Anlage 5 die möglichen Maßnahmen mittels Maßnahmenblättern nochmals einzeln aufgeführt und detailliert beschrieben.

Tabelle 11: *Auflistung der möglichen Maßnahmen*

Maßnahmen ID	Maßnahmentyp	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M1	Sedimentationsfläche	Sedimentation bei Starkregen	4.4 Feuchtfächen zum Rückhalt von Erosionsmaterial
M2	Bewirtschaftbarer Absetzraum	Sedimentation bei Starkregen	4.1 Erdbecken zur Schaffung von Rückhaltevolumen mit Nutzung als Wiese 4.3 Erd- und Steinwälle zum Wasserrückhalt, zur Abflusslenkung und zur Versickerung
M3	Bewirtschaftbarer Absetzraum	Sedimentation bei Starkregen	1.1 Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen (einschl. begrünter Abflussmulden) 4.3 Erd- und Steinwälle zum Wasserrückhalt, zur Abflusslenkung und zur Versickerung
M4	Optimierung vorhandener Becken, ggf. Anlage eines neuen Absetzbeckens mit Bodenfilter	Sedimentation bei Starkregen und Entzug von gelöstem Phosphat	1.1 Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen (einschl. begrünter Abflussmulden) 2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen 4.3 Erd- und Steinwälle zum Wasserrückhalt, zur Abflusslenkung und zur Versickerung 4.7 Flächen mit Hangversickerung zur Festlegung von Phosphor aus Dränwasser

Maßnahmen ID	Maßnahmentyp	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M5	a: Überlaufgraben zu Bodenfilter b: Reinigung des Drainagewassers	Entzug von gelöstem Phosphat	1.1 Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen (einschl. begrünter Abflussmulden) 4.7 Flächen mit Hangversickerung zur Festlegung von Phosphor aus Dränwasser
M6	Bewirtschaftbarer Absetzraum	Sedimentation bei Starkregen	1.1 Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen (einschl. begrünter Abflussmulden) 4.3 Erd- und Steinwälle zum Wasserrückhalt, zur Abflusslenkung und zur Versickerung
M7	Renaturierung eines Gewässerabschnitts des Eilenbachs	Verhinderung der Eintiefung, Schaffung Überflutungs-/Rückhalteraum, Verzögerung Abfluss, Erhöhung Selbstreinigung des Gewässers	2.1 Maßnahmen zur Förderung der eigen-dynamischen Gewässerentwicklung (Gewässerrenaturierung)
M8	Sedimentationsfläche	Sedimentation bei Starkregen, Erhöhung der Versickerungsleistung, Einleitung des Straßenbegleitgrabens mit angeschlossenen Ackerflächen	4.4 Feuchtfelder zum Rückhalt von Erosionsmaterial
M9	Absetzfläche mit Horizontalversickerung	Sedimentation bei Starkregen, Filterung von gelöstem Phosphor durch die Bodenpassage	4.1 Erdbecken zur Schaffung von Rückhaltevolumen mit Nutzung als Wiese 4.7 Flächen mit Hangversickerung zur Festlegung von Phosphor aus Dränwasser

Maßnahmen ID	Maßnahmentyp	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M10	Absetzbecken im Nebenschluss	Sedimentation bei Starkregen, Entlastung des bestehenden Beckens bei M6	1.1 Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen (einschl. begrünter Abflussmulden) 4.1 Erdbecken zur Schaffung von Rückhaltevolumen mit Nutzung als Wiese 4.4 Feuchtf Flächen zum Rückhalt von Erosionsmaterial
M11	Bewirtschaftbare Absetzfläche an/durch Wegerhöhung	Sedimentation bei Starkregen	3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebbaus
M12	Anschluss Graben an Feuchtf läche	Sedimentation bei Starkregen	1.1 Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsf lächen (einschl. begrünter Abflussmulden) 3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebbaus 4.4 Feuchtf lächen zum Rückhalt von Erosionsmaterial
M13	Bewirtschaftbare Absetzfläche durch Wegerhöhung	Sedimentation bei Starkregen	3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebbaus 4.1 Erdbecken zur Schaffung von Rückhaltevolumen mit Nutzung als Wiese
M14	Absetzbecken mit Bodenfilter	Sedimentation Teichschlamm, Bindung von gelöstem Phosphor	4.1 Erdbecken zur Schaffung von Rückhaltevolumen mit Nutzung als Wiese (hier: Schilf anstatt Wiese) 4.4 Feuchtf lächen zum Rückhalt von Erosionsmaterial

Maßnahmen ID	Maßnahmentyp	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M15	Sedimentfang an bestehender Wegerhöhung	Sedimentation bei Starkregen, Bindung von gelöstem Phosphor	4.1 Erdbecken zur Schaffung von Rückhaltevolumen mit Nutzung als Wiese 4.4 Feuchtfächen zum Rückhalt von Erosionsmaterial 4.7 Flächen mit Hangversickerung zur Festlegung von Phosphor aus Dränwasser
M16	Bewirtschaftbare Absetzflächen durch Wegerhöhung	Sedimentation bei Starkregen	3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus 4.1 Erdbecken zur Schaffung von Rückhaltevolumen mit Nutzung als Wiese
M17	Optimierung vorhandener Becken als Kombination Absetzbecken und Bodenfilter	Sedimentation bei Starkregen und Entzug von gelöstem Phosphat	3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus 4.4 Feuchtfächen zum Rückhalt von Erosionsmaterial 4.7 Flächen mit Hangversickerung zur Festlegung von Phosphor aus Dränwasser
M18	Anschluss Graben an Feuchtfäche über eine bewirtschaftbare Abflussmulde	Sedimentation bei Starkregen, Nährstoffentzug in Feuchtfäche	1.1 Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen (einschl. begrünter Abflussmulden)
M19	Absetzbecken im Nebenschluss	Sedimentation bei Starkregen	1.1 Anlage von Strukturen zum Erosionsschutz auf den Wirtschaftsflächen (einschl. begrünter Abflussmulden) 4.4 Feuchtfächen zum Rückhalt von Erosionsmaterial
M20	Feuchtfäche als Nährstofffalle	Entzug von gelöstem Phosphat	4.4 Feuchtfächen zum Rückhalt von Erosionsmaterial 4.7 Flächen mit Hangversickerung zur Festlegung von Phosphor aus Dränwasser

Maßnahmen ID	Maßnahmentyp	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M21	Drainageablauf öffnen, Einleitung in Versickerungsgraben	Entzug von gelöstem Phosphat	4.4 Feuchtflächen zum Rückhalt von Erosionsmaterial 4.7 Flächen mit Hangversickerung zur Festlegung von Phosphor aus Dränwasser
M22	Drainageauslauf öffnen, Einleitung in Versickerungsgraben	Entzug von gelöstem Phosphat	2.2 Offenlegung von verrohrten Fließgewässern 2.4 Aufweitung mit Verkrautung von Gräben und Quellbächen 4.4 Feuchtflächen zum Rückhalt von Erosionsmaterial 4.7 Flächen mit Hangversickerung zur Festlegung von Phosphor aus Dränwasser
M23a	Renaturierung und Verbreiterung Igelsbach und Begrünung der Uferzone, Einbindung der Drainage über flächige Versickerung	Schaffung Überflutungs-/Rückhalteraum, Verzögerung Abfluss, Erhöhung Selbstreinigung des Gewässers, Entzug von gelöstem Phosphat	2.1 Maßnahmen zur Förderung der eigen-dynamischen Gewässerentwicklung (Gewässerrenaturierung) 4.7 Flächen mit Hangversickerung zur Festlegung von Phosphor aus Dränwasser
M23b	Beseitigung des Absturzes des Igelsbachs im Zuge des Kernwegenetzausbaus	Herstellung der Durchgängigkeit	3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus
M24a	Hangparalleler Bodenfilter durch Bodenaustausch mit Sand, Aufnahme der Drainage	Entzug von gelöstem Phosphat	4.7 Flächen mit Hangversickerung zur Festlegung von Phosphor aus Dränwasser
M24b	Höhenparallele Wegerhöhung als Erosionsschutz	Rückhalt Erosionsmaterial bei Starkregen	3.2 Abflussregulierende Maßnahmen im Rahmen des ländlichen Wegebaus

Maßnahmen ID	Maßnahmentyp	Beabsichtigte Wirkung	Maßnahmentyp nach Planungshandbuch boden:ständig
M24c	Hangparalleler Bodenfilter, Bodenaustausch mit Sand, Aufnahme der Drainage	Entzug von gelöstem Phosphat	4.7 Flächen mit Hangversickerung zur Festlegung von Phosphor aus Dränwasser

Neben der Bestimmung der aktuellen Versorgungsstufen der landwirtschaftlich genutzten Flächen wäre auch eine Analyse und Bestimmung der Phosphor-Gehalte der Waldböden und des Ausgangsgesteins wünschenswert, um das natürliche Phosphor-Potential der Böden und daraus den geogenen Phosphor-Eintrag in den Igelsbachsee abschätzen zu können.

Hinsichtlich der denkbaren Effekte des Waldes und den nur grob abschätzbaren Phosphorfrachten aus drainierten Flächen wären außerdem weitere Untersuchungen hilfreich, um genauere Werte hinsichtlich der Phosphor-Austräge aus Wald und aus drainierten Flächen zu erhalten. Denkbar ist die Durchführung dieser Untersuchungen im Rahmen von Bachelor- oder Master-Arbeiten. Der Lehrstuhl Hydrologie der Universität Bayreuth hat bereits großes Interesse an der Untersuchung des P-Austrags aus Drainagen in dem Projektgebiet bekundet. Alle Arbeiten sollten dabei in enger Abstimmung mit dem WWA Ansbach erfolgen.

7 Literatur- und Quellenverzeichnis

- AMT FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN TRAUNSTEIN (HRSG) (2013):
Seenschutz in der Landwirtschaft im Einzugsgebiet des Waginger und Ta-
chinger Sees
- ARGE LENZ/KARLSTETTER/KNOGLER, (2006), Sanierung des landschaftlichen Stoff-
haushalts durch Ländliche Entwicklung, unveröffentlicht, 2006 und 2010
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (HRSG.), Wirksamkeit von Erosi-
onsschutzmaßnahmen, http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/051476_erosionsschutzmassnahmen.pdf, 2013
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL 2018): Leitfaden für die Dün-
gung von Acker- und Grünland, Gelbes Heft, Stand: 2018
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (O.J.): Untersuchung zum P-
Austrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen
<http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/031920/> abgerufen 04.10.2017
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT: Temperaturdaten der verwendeten
Wetterstationen unter www.wetter-by.de/ abgerufen am 06.08.2019
- BAYRISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (2000):
Wasser für Franken - "Die Überleitung". - Wasserwirtschaft in Bayern. Heft
34. - Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Um-
weltfragen, München.
- BERGER K., APEL R., BADER K. UND DIEZ T. (1971): Geologische Karte von Bayern, Er-
läuterungen zum Blatt Nr. 6831 Spalt, Bayerisches Geologisches Landesamt.
- BRANDHUBER R., Auerswald, K., Lang, R., Müller, A., Treisch, M. (2018): ABAG in-
teraktiv, Version 2.0 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
- CHRISTOFFELS EKKEHARD, Bedeutung der Bodenerosion für Fließgewässer, 2013 in
Korrespondenz Wasserwirtschaft 10/13
- DEUTSCHER WETTERDIENST: Niederschlagsdaten der verwendeten Wetterstationen
über CDC (Climate Data Center) unter www.cdc.dwd.de/ abgerufen
06.08.2019
- DIEPOLDER, MICHAEL, RASCHBACHER, SVEN (2010): Vortragspräsentation zu Untersu-
chungen zu Phosphorausträgen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen, 2010
[https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/down
loadsveranstaltungen/finish/422-umweltoekologisches-symposium-2010/
18549-2uv-2010-diepolder.html](https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/finish/422-umweltoekologisches-symposium-2010/18549-2uv-2010-diepolder.html)

- FRITZ HEIKO, OLLESCH GREGOR, WEIGERT ASTRID, SCHMIDT JÜRGEN (2007): Methodenvergleich der Bodenfeuchtebestimmung und Messung der Infiltration in teilweise gefrorenen Böden, *Herczynia N.F.* 40 (2007) 19 - 31
- GEOLOGISCHE KARTE VON BAYERN 1:25000, Kartenblatt 6831 Spalt, Bayerisches Geologisches Landesamt, München 1971
- HARTMANN K, LILIENTHAL H, ABU-HASHIM M, AL-HASSOUN R, EIS Y, STÖVEN K, SCHNUG E, Vergleichende Untersuchungen der Infiltrationseigenschaften von konventionell und ökologisch bewirtschafteten Böden. , Braunschweig, 2009
- HAIDER JOSEF: Ursachen und Mechanismen des erosionsbedingten Stoffeintrags in Fließgewässer, 2013 in *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 10/13
- HENKE KATJA (2007): Infiltrationspotential der Böden im Einzugsgebiet der Schweinitz (Mittleres Erzgebirge) in Abhängigkeit von der Landnutzung, wiss. Examensarbeit, 2007
- HG (2009): Büro für Hydrologie und Umwelt GmbH, Regionales Grundwassermodell für den Sandsteinkeuper im südlichen Mittelfranken, Modellfortschreibung 2009, Modellbericht und Ergebnisse der isotopenphysikalischen Untersuchungen.
- KLS (2011): Igelsbachsee – Abschätzung der Auswirkung einer Phosphatfällung auf die Gewässersituation, 33 S.
- KRAUß, M. (2008): Ansätze zur Sanierung des diffusen Nährstoffeintrags im Igelsbachseeinzugsgebiet. Diplomarbeit an der Fachhochschule Weihenstephan–Triesdorf, 129 S.
- LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG: Erfassung der Klassenzeichen aus Bodenschätzung über BayernAtlas unter [www. geoportal.bayern.de/bayernatlas/](http://www.geoportal.bayern.de/bayernatlas/) abgerufen am 06.08.2019
- LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (LFULG SACHSEN) (2012): Phosphoreinträge durch Erosion in Sachsen <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13102/documents/14646> abgerufen 16.6.2017
- MÜLLER ELLEN (2006), Regenwurmhäufigkeit bei dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung , 2006, <http://www.boden.sachsen.de>
- RÖSLER R. (2011): Mündliche Mitteilung, Rösler Roland, Fachbereichsleiter Grundwasser- und Bodenschutz, Wasserwirtschaftsamt Ansbach.

- SCHWARZ, F. (2015): Monitoringprogramm zur Nährstoffbelastung des Igelsbachsees und des Altmühlsees. Betriebs- und Fachbericht zum Praxissemester an der Fachhochschule Weihenstephan–Triesdorf, 51 S.
- VORDERBRÜGGE ET AL. (2004): Ableitung der nutzbaren Feldkapazität aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung, aus DBG-Mitteilungen 2004, Bg. 104, S. 33-34
- WALLRAPP, S. (2011): Konzept zur nachhaltigen Verbesserung der Wasserqualität des Igelsbachsees durch Reduzierung der Phosphoreinträge und seeinterne Maßnahmen. Masterarbeit an der Leibniz-Universität Hannover, 176 S.
- WWA ANSBACH (2015): Ergebnisse des Messprogramms „Fränkische Seen“ 2012 bis 2014, 56 S.