



Beweissicherung Wasserwerk Nordheide

Berichtsjahr 2024

Fachbeitrag Hydrologie

Bearbeitung: M.Sc.-Geow. Björn Stiller
Dipl. Geol. Michael Neubauer

Datum: Juli 2025

Inhaltsverzeichnis

1	VORGANG.....	3
2	STAND DER UMBAUMAßNAHMEN AN ABFLUSSMESSSTELLEN.....	3
3	DATENERHEBUNG	4
4	WETTERDATEN.....	7
5	AUSWERTUNG UND BEWERTUNG DER PEGELDATEN	11
5.1	Begriffe und Definitionen	11
5.2	Darstellung und Plausibilitätsprüfung der Wasserstands-, Abfluss- und Temperaturganglinien	12
5.3	Gewässerkundliche Hauptwerte und Ermittlung des Basisabflusses	16
5.4	Trendanalyse der Niedrigwasserabflüsse NM7Q	20
5.4.1	Allgemeines.....	20
5.4.2	Methodik der Berechnungsverfahren.....	20
5.4.3	Datenumfang und Auswertungszeiträume.....	22
5.4.4	Erläuterung der Auswertung exemplarisch am Beispiel der Messstelle Marxen.....	22
5.4.5	Ergebnisse der NM7Q-Trendanalyse	24
5.4.6	Bewertung der NM7Q-Entwicklung mittels Doppelsummenanalyse	26
5.4.7	Zusammenfassung NM7Q-Trendanalyse.....	29
6	EMPFEHLUNGEN ZUR WEITEREN VORGEHENSWEISE.....	31
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	32
	ABBILDUNGEN UND TABELLEN	33
	ANLAGENVERZEICHNIS.....	34
	LITERATURVERZEICHNIS	35

1 Vorgang

In der gehobenen Erlaubnis für das Wasserwerk Nordheide zur Grundwasserförderung aus Brunnen der Fassungen Nordheide West, Nordheide Ost und Schierhorn zum Zwecke der Trink- und Brauchwassergewinnung vom 03.04.2019 [U 8] wurden die Hamburger Wasserwerke GmbH (HWW) in *Teil A.V* zur Durchführung einer Beweissicherung verpflichtet. In diesem Fachbeitrag Hydrologie werden die erhobenen Daten für das Berichtsjahr 2024 dargestellt und aus hydrologischer und hydrogeologischer Sicht bewertet.

2 Stand der Umbaumaßnahmen an Abflussmessstellen

In *Teil A.V 1. b.(1)* der gehobenen Erlaubnis für das Wasserwerk (WW) Nordheide [U 8] wurden die HWW verpflichtet, sieben Abflussmessstellen an kleinen Gewässern im Beweissicherungsgebiet messtechnisch anzupassen. Dort ist zukünftig, neben der kontinuierlichen Messung und Erfassung des Wasserstands, auch eine kontinuierliche Messung und Erfassung der Fließgeschwindigkeit nach dem Stand der Technik durchzuführen. Die HWW haben beschlossen, diesen Anlass zu nutzen, sämtliche für das Wasserwerk Nordheide betriebenen Abflussmessstellen auf eine neue Messtechnik mit kontinuierlicher Messung der Parameter Wasserstand, Fließgeschwindigkeit und Temperatur umzurüsten sowie die Messstellen baulich zu ertüchtigen.

Der Landkreis Harburg wurde von Beginn an in den Planungsprozess für die messtechnische Ausrüstung sowie die Ertüchtigung mit einbezogen. Seitens des Landkreises wurde gefordert, die bestehende und die neue Messtechnik mindestens ein Jahr sowie mindestens eine Niedrigwasserphase parallel zu betreiben, bevor der Abbau der alten Messtechnik und die bauliche Ertüchtigung erfolgen kann.

Die Planungsunterlagen für das von den HWW favorisierte messtechnische System unter Betrachtung der hydraulischen Besonderheiten an den vorhandenen Messquerschnitten wurden dem Landkreis Harburg zur Abstimmung im Januar 2020 vorgelegt. Der Landkreis Harburg hat die Eignung des Messsystems am 05.06.2020 festgestellt, woraufhin die Vorbereitung der Vergabe für die neue Messtechnik begann. Im März 2021 erfolgte die Vergabe der Leistungen für die Ausrüstung der Abflussmessstellen mit neuer Messtechnik. Die Installation und Inbetriebnahme der neuen Messtechnik fand im Zeitraum vom 30. August bis 08. September 2021 statt. In diesem Zusammenhang wurde auch die seit 2005 nicht mehr betriebene Messstelle Inzmühlen/W mit neuer Messtechnik ausgestattet und der Messbetrieb anschließend aufgenommen. Eine Ausnahme bildet die Abflussmessstelle Toppenstedt, welche wegen der fehlenden Zustimmung des Flächeneigentümers erst am 05.05.2022 mit der neuen Messtechnik ausgerüstet werden konnte. Eine Unterbrechung des bisherigen Messbetriebs ergab sich daraus allerdings nicht.

Mit der Installation der Messtechnik hat der einjährige Parallelbetrieb zwischen bestehender und neuer Messtechnik begonnen, welche mindestens eine Niedrigwasserphase enthalten sollte. Am 15.02.2023 wurden die Ergebnisse des Parallelbetriebs dem Landkreis Harburg vorgestellt, woraufhin am 03.05.2023 die Freigabe zur baulichen Ertüchtigung der Messstellen erteilt wurde, welche sich derzeit noch in der Umsetzung befindet.

3 Datenerhebung

Das Beweissicherungsgebiet befindet sich vollständig im Flussgebiet der Elbe. Die Hauptvorfluter sind die Gewässer Este, Seeve, Schmale Aue und Luhe, wobei die Schmale Aue selbst ein Nebengewässer der Seeve ist. Die Beobachtung der Wasserstände und Abflussmengen im Untersuchungsgebiet geschieht an insgesamt 15 Abflussmessstellen innerhalb der Flussgebiete der vier genannten Hauptvorfluter. Eine Übersicht über die Flussgebiete und die ausgewerteten Abflussmessstellen geben Abbildung 1.

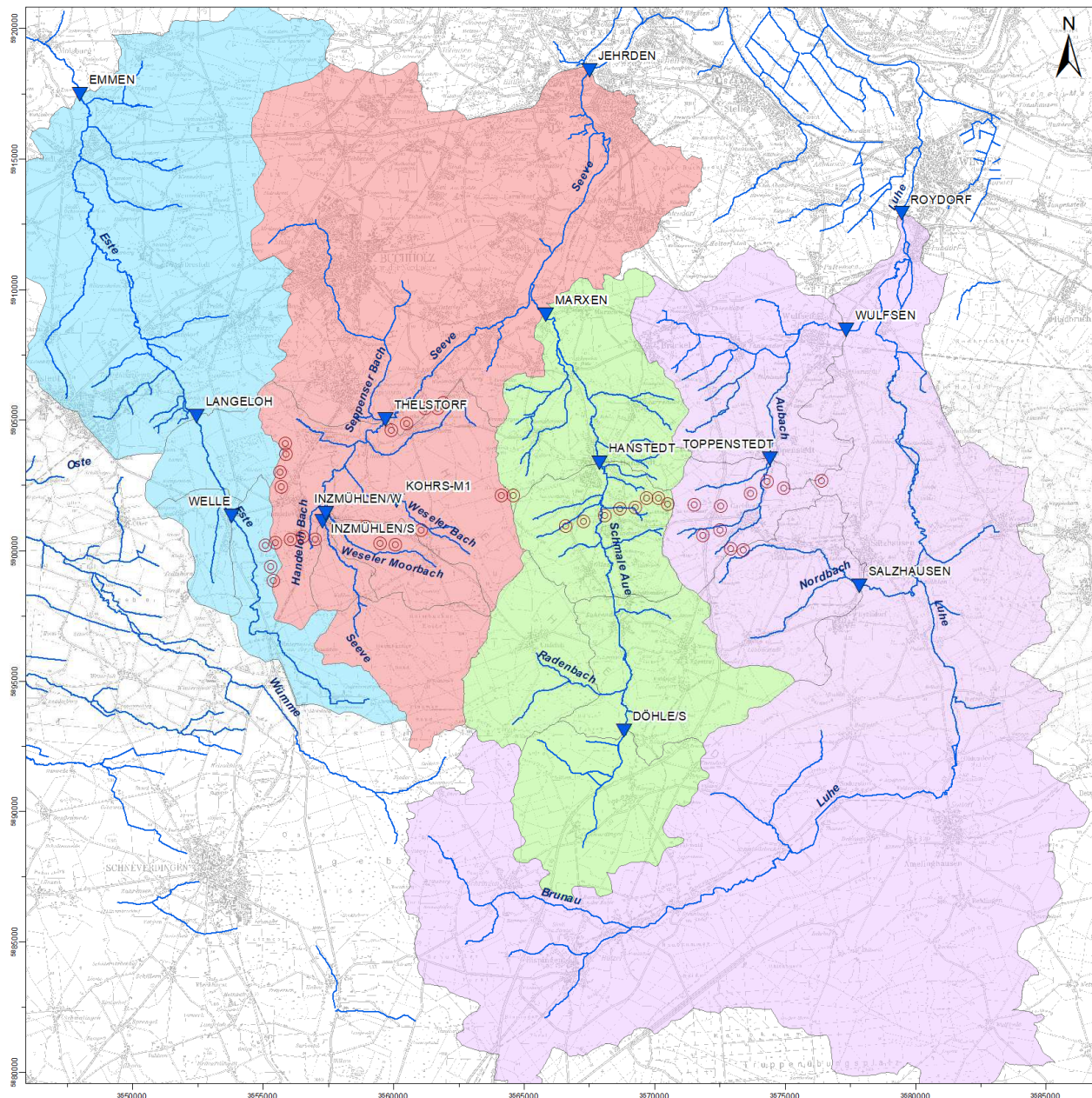


Abbildung 1: Lage der Abflussmessstellen und Flussgebiete

Von den 15 Abflussmessstellen werden 10 durch die HWW betrieben und unterhalten, diese sind auf Grundlage der Auflagen der wasserrechtlichen Bewilligung aus dem Jahre 1974 durch die HWW errichtet worden und verfügen über Zeitreihen ab den 1970er und 1980er Jahren. Eine Ausnahme bildet die Abflussmessstelle Welle, welche zunächst vom Wasserwirtschaftsamt Lüneburg errichtet und später durch die HWW übernommen wurde.

Weitere fünf Abflussmessstellen gehören dem Landesmessnetz des NLWKN an und werden seit den 1950er und 1960er Jahren betrieben. Eine Ausnahme bildet die Abflussmessstelle Döhle/S, welche durch die HWW in den 1970er Jahren errichtet wurde, entsprechend den Auflagen zur wasserrechtlichen Erlaubnis von 2004 aber aus der Beweissicherung fiel und daraufhin vom NLWKN übernommen und weiter betrieben wurde.

Eine Übersicht über die Abflussmessstellen und die verfügbaren Zeitreihen sowie der Größe der oberirdischen Einzugsgebiete bietet Tabelle 1.

Tabelle 1: Messstellennetz für die hydrologische Beweissicherungsmessstellen

Gewässer	Pegel	RW	HW	Mst.-Nr..	Betreiber	EZG [km²]	Zeitraum	
							von	bis
ESTE	WELLE	553708	5899379	5958101	HWW	21	1973	2024
	LANGELOH	552358	5903208	5958103	NLWKN	46	1957	2024
	EMMEN	547890	5915533	5958112	NLWKN	184	1957	2024
SEEVE	INZMÜHLEN/S	557176	5899179	5952102	HWW	27	1983	2024
	THELSTORF	559580	5903063	5952104	HWW	86	1983	2024
	JEHRDEN	567402	5916462	5952127	NLWKN	408	1962	2024
WESELER MOORBACH	INZMÜHLEN/W	557306	5899499	5952103	HWW	11	1983 2021	2004 2024
WESELER BACH	KOHRM1	559997	5899981	5952106	HWW	17,1	1990	2024
SCHMALE AUE	DÖHLE/S	568722	5891182	5952115	NLWKN	33	1979	2024
	HANSTEDT	567802	5901428	5952122	HWW	115	1973	2024
	MARXEN	565733	5907116	5952124	HWW	157	1972	2024
AUBACH	TOPPENSTEDT	574329	5901578	5948128	HWW	17,5	1982	2024
	WULFSEN	577248	5906526	5948130	HWW	68	1972	2024
NORDBACH	SALZHAUSEN	577778	5896543	5948122	HWW	27	1977	2024
LUHE	ROYDORF	579368	5910984	5948131	NLWKN	367	1962	2024

An allen Abflussmessstellen (mit Ausnahme Inzmühlen/W) wird seit Beginn der Messungen kontinuierlich, viertelstündlich der Wasserstand mit Hilfe von Datenloggern gemessen und monatlich der Abfluss im Messgerinne bestimmt. Hierbei kamen bis Ende 2023 Winkelkodierer zum Einsatz. Entsprechend der Auflagen zur wasserrechtlichen Erlaubnis von 2004 fiel die Messstelle Inzmühlen/W aus der Beweissicherung und der Messstellenbetrieb wurde im Jahr 2005 eingestellt. Gemäß den Auflagen für die hydrologische Beweissicherung der gehobenen Erlaubnis von 2019 wurde die Messstelle Inzmühlen/W wieder in Betrieb genommen.

Aus den monatlichen Kontrollmessungen wurden jährlich W-Q-Schlüsselkurven erstellt und die Abflusswerte aus den korrespondierenden Wasserstandsdaten hergeleitet. Zudem werden die Messgerinne monatlich gereinigt und von Störeinflüssen befreit. Im Falle von aufgetretenen Verkrautungen, Störungen durch Treibgut oder anderweitig verfälschten Abflüssen wurden die Schlüsselkurven mittels ETA-Verfahren korrigiert. Dies ist notwendig, da sich z.B. durch Krautwuchs jeden Sommer ein langsam, gleichmäßig zunehmender Rückstau ausbilden kann. Dadurch nehmen die Fließgeschwindigkeit und der Abfluss langsam ab, während der Wasserstand teilweise sogar angehoben wird. Nach Absterben des Krautes zum Winter hin, verschwindet der Rückstau, sodass wieder ein ungehemmter Abfluss stattfindet. Das ETA-Verfahren korrigiert diese Effekte.

Seit 2021/2022 wird der Wasserstand und die Fließgeschwindigkeit per Radar gemessen sowie die Wassertemperatur im Gewässer aufgezeichnet. Seither können die Abflüsse aus den Messgrößen Wasserstand und Fließgeschwindigkeit in Verbindung mit den monatlichen Kontrollmessungen hergeleitet werden. Da nach Inbetriebnahme der neuen Messtechnik zunächst ein einjähriger Parallelbetrieb stattfand, werden die per Radar ermittelten Abflüsse ab dem Jahr 2023 verwendet.

Sowohl die Messungen selbst, als auch die Ableitung der resultierenden Abflussmengen wurden bis zum Jahre 2004 im Auftrag der HWW durch den NLWKN bzw. deren Vorgängerorganisationen durchgeführt und geprüft. Die geprüften Daten wurden den HWW übermittelt.

Von 2004 bis Ende 2023 wurden die Messungen an den Abflussmessstellen durch das Fachbüro "Nordheide Geotechnik GmbH" (NH-Geo) durchgeführt. Vor der Übergabe des Messstellenbetriebs fand eine umfangreiche Einweisung durch den NLWKN statt. Es wurden weiterhin jährliche W-Q-Schlüsselkurven erstellt und die Abflussmengen zu den korrespondierenden Wasserstandsdaten ermittelt. Die Daten wurden anschließend an HWW und den NLWKN übersandt.

Zum Jahreswechsel 2023/2024 stelle NH-Geo den Messbetrieb ein, sodass dieser an HWW übergang. Das HWW-Messpersonal wurde durch NH-Geo umfangreich in die Messstellen und ihren Betrieb eingewiesen. Die gemessenen und ausgewerteten Daten werden weiterhin jährlich an den NLWKN übersandt.

4 Wetterdaten

Die Entwicklung des Niederschlags im Bereich des WW Nordheide wird exemplarisch anhand von Messdaten der Wetterstation Soltau (ID 4745) [U 6] des Deutschen Wetterdienstes (DWD) beschrieben. Die ca. 30 km südlich der Entnahmebrunnen gelegene Messstation "Soltau" ist die nächstgelegene DWD-Station, für die langjährige Zeitreihen (> 30 Jahre) sowohl für den Niederschlag als auch für die potenzielle Verdunstung vorliegen.

Der Jahresniederschlag des Kalenderjahres 2024 betrug an der DWD-Station Soltau 901 mm. Im Vergleich zum langjährigen Mittel (Zeitraum 1991 – 2020) von 780 mm (Abbildung 6 und Tabelle 2) verlief das Jahr 2024 deutlich überdurchschnittlich mit einem Niederschlagsüberschuss von 16 %. Der Jahresniederschlag war um 307 mm geringer als im Vorjahr, in welchem 1.208 mm Niederschlag fielen (155 % des langjährigen Mittels 1991 – 2020). Gemeinsam betrachtet waren die Jahre 2023 und 2024 die niederschlagsreichsten aufeinanderfolgenden Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen und stehen im Kontrast zu der vorangegangenen Dekade mit meist unterdurchschnittlichen Jahresniederschlägen.

Tabelle 2: Monatsniederschläge der DWD-Station Soltau 2015 bis 2024

Niederschläge in mm											
Kalenderjahr	Ø 1991 - 2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Januar	75,7	93,2	68,9	68,8	99,3	83,5	33,7	62,8	63,7	117,0	95,7
Februar	60,3	25,8	90,5	49,3	4,7	23,8	139,5	47,5	143,8	66,5	121,7
März	58,1	66,4	38,4	67,4	45,8	78,7	56,4	56,8	5,1	98,9	37,7
April	43,0	27,5	57,3	35,9	76,0	20,2	13,9	47,3	48,1	32,5	72,5
Mai	57,9	34,4	55,9	73,9	15,0	38,8	21,2	84,0	38,7	41,4	91,0
Juni	65,5	22,4	96,2	144,8	30,0	53,1	89,5	85,4	23,7	30,9	95,3
Juli	83,9	117,0	77,4	129,7	41,7	51,5	87,1	60,8	44,7	160,2	71,5
August	71,1	130,3	40,7	72,3	27,8	50,3	46,2	96,2	39,4	101,5	52,7
September	62,6	76,1	26,2	86,7	33,3	80,2	33,8	64,9	91,3	34,5	64,9 *
Oktober	64,3	48,2	27,3	88,7	40,1	112,2	72,0	55,7	26,6	141,5	68,8
November	61,6	121,3	51,1	75,5	13,1	70,8	26,1	41,8	26,4	187,7	71,5
Dezember	76,1	52,2	43,4	74,3	104,6	50,8	54,9	68,7	74,7	195,7	58,0
Jahressumme	780,0	814,8	673,3	967,3	531,4	713,9	674,3	771,9	626,2	1208,3	901,3
% vom langj. Mittel (1991 - 2020)		104%	86%	124%	68%	92%	86%	99%	80%	155%	116%
Summe 1. Halbjahr	360,4	269,7	407,2	440,1	270,8	298,1	354,2	383,8	323,1	387,2	513,9
% vom langj. Mittel (1991 - 2020)		75%	113%	122%	75%	83%	98%	106%	90%	107%	143%
Summe 2. Halbjahr	419,6	545,1	266,1	527,2	260,6	415,8	320,1	388,1	303,1	821,1	387,4
% vom langj. Mittel (1991 - 2020)		130%	63%	126%	62%	99%	76%	92%	72%	196%	92%

* September 2024: Wert inkl. Geräteausfall an zwei Tagen

An der Station Soltau wurde für das 1. Halbjahr 2024 ein Niederschlag von 514 mm gemessen. Im Vergleich zum langjährigen Mittel von 360 mm lag somit ein erheblicher Niederschlagsüberschuss von 43 % vor (Tabelle 2). Im Vergleich zum Vorjahr fielen im 1. Halbjahr 2023 127 mm mehr Niederschlag.

Im 2. Halbjahr 2024 betrug der Niederschlag 387 mm. Damit wurde das langjährige Mittel von 420 mm um 8 % leicht unterschritten. Im Vergleich zum außergewöhnlich niederschlagsreichen 2. Halbjahr 2023 fielen 434 mm weniger Niederschlag.

In Abbildung 2 und Abbildung 3 werden die monatlichen Niederschlagssummen 2024 mit den Niederschlagssummen 2023 und mit den 30-jährigen Mittel der Niederschlagssummen 1991 bis 2020 verglichen. Das Jahr 2024 begann bezogen auf den Niederschlag mit den überdurchschnittlichen feuchten Monaten Januar und Februar, gefolgt von einem unterdurchschnittlichen März. Damit war das für die Grundwasserneubildung wichtige erste Quartal überdurchschnittlich feucht. Auch die Niederschlagsmenge der Monate April bis Juni lag über dem Durchschnitt. In der zweiten Jahreshälfte bewegten sich die Werte hingegen im Normalbereich. Während die Monate Juli, August und Dezember leicht unterdurchschnittlich verliefen, weisen die Monate September, Oktober und November einen leichten Niederschlagsüberschuss auf.

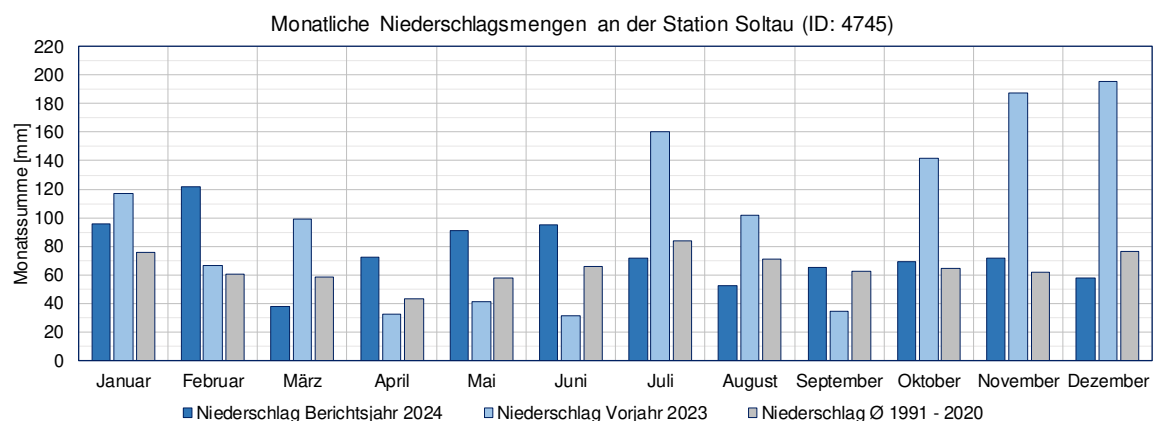


Abbildung 2 Monatsniederschläge des Jahres 2024 im Vergleich zum Vorjahr und zum langjährigen Mittel (DWD-Station Soltau)

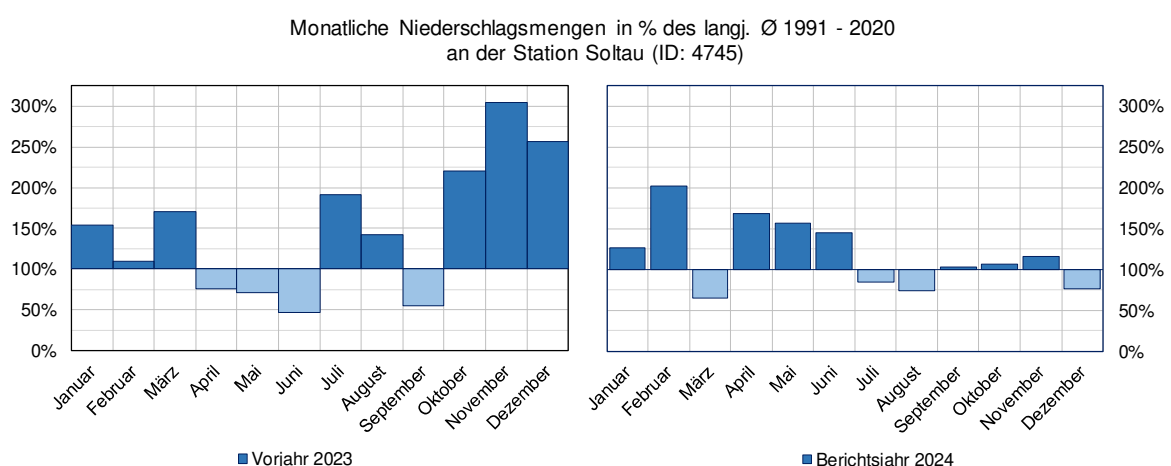


Abbildung 3: Abweichungen der Monatsniederschläge der Jahre 2023 und 2024 in Prozent vom langjährigen Mittel (DWD-Station Soltau)

In Abbildung 4 sind die Parameter Niederschlag und potentielle Verdunstung als Summenkurve für das Berichtsjahr 2024 im Vergleich zum langjährigen Mittel dargestellt. Diese verdeutlichen

den beschriebenen Jahresverlauf mit einem deutlichen Niederschlagsüberschuss in der ersten Jahreshälfte gefolgt von überwiegend durchschnittlichen Niederschlägen bis zum Jahresende. Die Summenkurve der potentiellen Verdunstung verläuft das ganze Jahr über sehr durchschnittlich. Nur im April und Juni war die Verdunstung leicht unterdurchschnittlich, die Monate Mai und September hingegen leicht überdurchschnittlich. Die Jahressumme entspricht den langjährigen Durchschnitt.

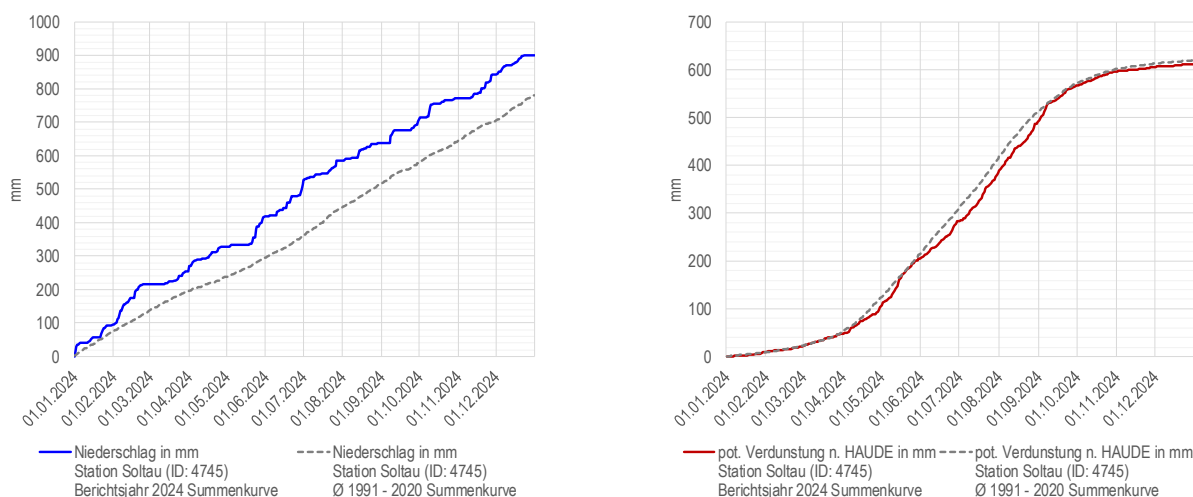


Abbildung 4: Summenkurven des Niederschlags und der potentiellen Verdunstung nach HAUDE für das Jahr 2024 an der DWD-Station Soltau

In Abbildung 5 und Abbildung 6 sind die Jahresniederschläge seit 1991 der DWD-Station Soltau als Summe bzw. im prozentualen Vergleich zum langjährigen Mittel 1991 bis 2020 dargestellt. Der Zeitraum zwischen 2010 und 2022 ist durch außergewöhnlich viele niederschlagsarme Jahre (2010, 2012, 2013, 2014, 2016, 2018, 2019, 2020, 2022) geprägt. Lediglich die Jahre 2017 sowie 2023 und 2024 stechen mit deutlich überdurchschnittlichen Niederschlagssummen hervor.

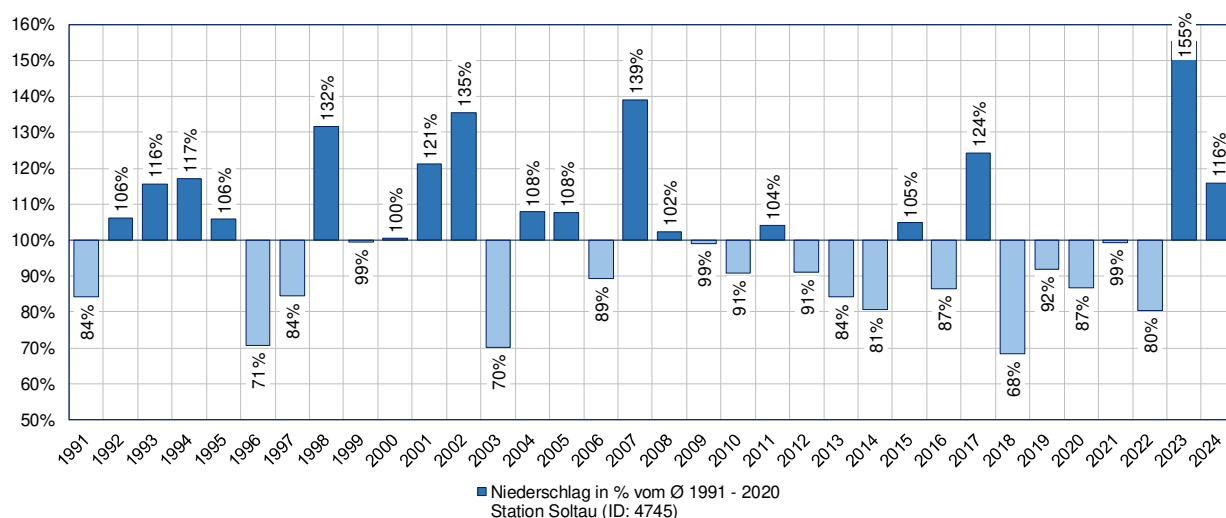


Abbildung 5: Jahresniederschläge der Jahre 1991 bis 2024 im Vergleich zum langjährigen Mittel (DWD-Station Soltau)

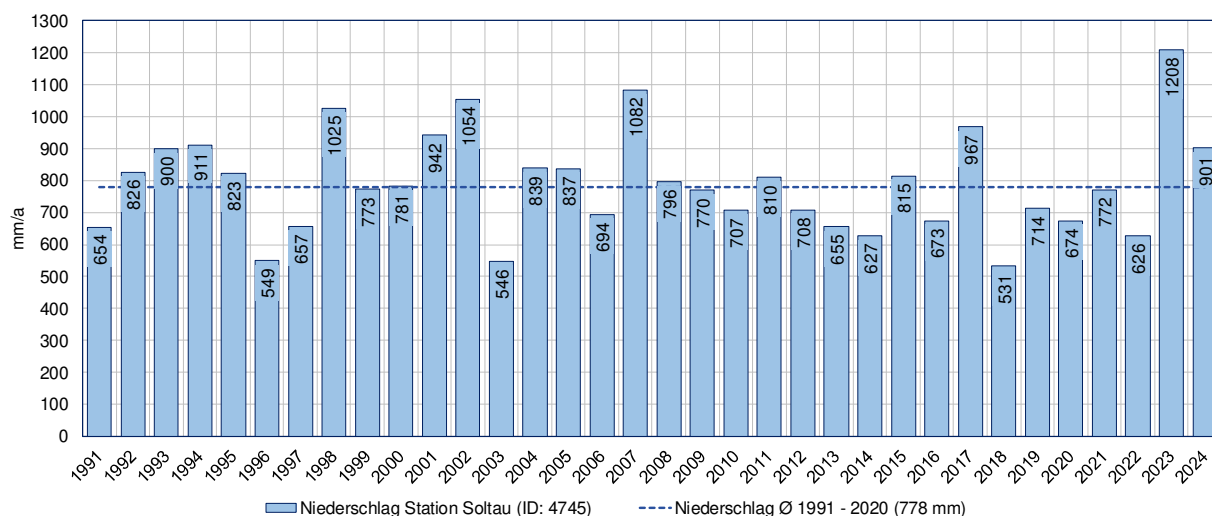


Abbildung 6: Abweichungen der Jahresniederschläge der Jahre 1991 bis 2024 in Prozent vom langjährigen Mittel (DWD-Station Soltau)

In Tabelle 3 sind die im Winter 2023 / 2024 gefallenen Niederschlägen den langjährigen Monatsmitteln gegenübergestellt. Die Niederschläge im Winterhalbjahr sind für die Grundwasserneubildung ausschlaggebend, da aufgrund der geringeren Verdunstung in diesen Monaten der Anteil des versickernden Niederschlags im Vergleich zum Gesamtjahr am höchsten ist. Im Winterhalbjahr 2023 / 2024 fielen 780 mm Niederschlag und somit rund 384 mm mehr als im langjährigen Mittel. Gegenüber dem bereits überdurchschnittlichen Winterhalbjahr 2022 / 2023 (410 mm) ist dies erneut eine deutliche Zunahme im Vergleich zum Vorjahr.

Tabelle 3: Übersicht Niederschläge im Winter 2023 / 2024

Monat	Niederschlagsmenge in mm	
	2023 / 2024	Ø 1991 - 2020
Oktober	26.6	64,3
November	26.4	61,6
Dezember	74.7	76,1
Januar	117.0	75,7
Februar	66.5	60,3
März	98.9	58,1
Summe Winterhalbjahr	410.1	396,0

Nach einer trockenen Dekade mit überwiegend unterdurchschnittlichen Niederschlägen konnten die ergiebigen Winterniederschläge aus 2019 / 2020, der durchschnittliche Niederschlag im Jahr 2021 sowie das feuchte 1. Quartal 2023 den Grundwasserhaushalt etwas stabilisieren. Durch die außergewöhnlich hohen Winterniederschläge 2023 / 2024 ist ein kräftiger Anstieg der Grundwasserstände als auch der Abflussmengen v.a. im ersten Quartal 2024 zu verzeichnen, welcher dank der immerhin durchschnittlichen zweiten Jahreshälfte bis zum Jahresende gehalten werden konnte.

5 Auswertung und Bewertung der Pegeldata

5.1 Begriffe und Definitionen

Der Abfluss an einem Pegel kann als integrierte Antwort des oberirdischen und unterirdischen Einzugsgebietes auf den Niederschlag verstanden werden. Die Abflussbildung ist in Abbildung 7 schematisch dargestellt. Allgemein hat alles Wasser, welches sich als Abfluss im Fließgewässer wiederfindet, seinen Ursprung im Niederschlag. Trifft der Niederschlag auf den Boden auf, so fließt ein Teil oberflächlich dem Vorfluter zu (Landoberflächenabfluß), ein Teil versickert und fließt in der ungesättigten Zone in Richtung des Vorfluters (Zwischenabfluß) und ein Teil versickert, bis es in der gesättigten Zone angelangt ist und als neugebildetes Grundwasser (Grundwasserabfluß) dem Vorfluter zuströmt (Abbildung 7). Aufgrund der Fließzeitlänge kommt es zu einer verzögerten Ankunft des Niederschlags über den Zwischenabfluß und den Grundwasserabfluß. Bei verzögertem Eintreffen des Wassers im Vorfluter spricht man vom Basisabfluß, bei unmittelbarem oder sehr zeitnahe Eintreffen von Direktabfluß.

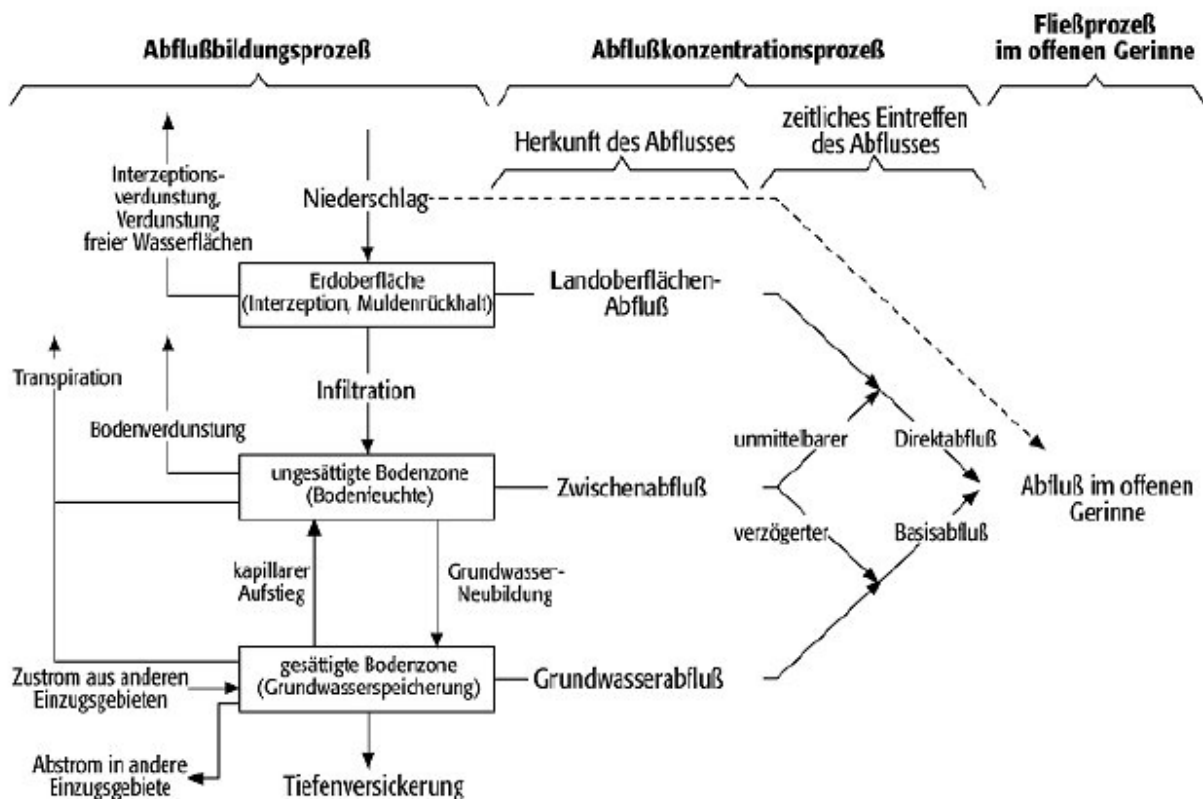


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Abflussbildung (BAUMGARTNER & LIEBSCHNER) [U 8]

Der Niederschlag ist damit mittelbar und unmittelbar der Faktor, der das Abflussgeschehen am stärksten beeinflusst. Aufgrund des enormen Einflusses kann eine Betrachtung des Abflussregimes nicht erfolgen, ohne auch die Niederschlagsentwicklung im gleichen Zeitraum zu berücksichtigen (vgl. Kap. 4).

Während sich der Niederschlag auf alle Abflussbestandteile auswirkt, kann eine Entnahme von Grundwasser durch Förderung ausschließliche Auswirkung auf den grundwasserbürtigen Anteil des Abflusses haben, also auf den Basisabfluß.

Die zwei Komponenten des Abflusses (Direktabfluss und Basisabfluss) sind aus gemessenen Abflusswerten schwer voneinander zu separieren. Für eine Aufspaltung der beiden Abflusskomponenten gibt es kein allgemein gültiges physikalisches Modell. Die publizierten Verfahren sind empirisch entwickelt worden. Aus diesen Gründen können die Ergebnisse aus verschiedenen Verfahren für die Berechnung des Basisabflusses in einzelnen Fällen um einige Prozent voneinander abweichen.

Im Allgemeinen können grafische und statistische Verfahren zur Trennung des Direktabflusses und des Basisabflusses unterschieden werden. Dabei nutzen grafische Verfahren die geometrischen Eigenschaften der Abflussganglinien, z.B. unterschiedliche Steigungen beim Ansteigen und Abfallen von Hochwasserscheitelwellen. Als ein bekanntes Verfahren wäre hier das Au-Verfahren nach NATERMANN [U 5] zu nennen.

Statistische Verfahren beruhen dagegen nicht auf der Auswertung einzelner Ereignisse, sondern auf der Analyse und Mittelung von Zeitreihen. So können die Niedrigwasserabflüsse mit dem unterirdischen Basisabfluss in Beziehung gesetzt werden. Zur Berechnung des Basisabflusses wurden die mittleren monatlichen Niedrigwassermengen (MoMNQ) nach den Verfahren nach WUNDT [U 10] ausgewertet. Da die monatlichen Niedrigwassermengen den tatsächlichen Basisabfluss überschätzen, ist ein Beobachtungszeitraum von mehr als 10 Jahren, vorzugsweise sogar mehr als 20 Jahren, empfehlenswert. Durch das Mitteln der Werte wird die Auswirkung von Ausreißern in der Zeitreihe reduziert. Durch den statistischen Ansatz können allerdings keine Aussagen zu Einzeljahren oder wenigen aufeinanderfolgenden Jahren getroffen werden.

Die Einflüsse auf den Basisabfluss sind vielfältig. Dies sind die Witterung, die Vegetation/Landnutzung, die Bodenart, der Grundwasserflurabstand, die Durchlässigkeit der Schichten in der ungesättigten Zone, die Art des Grundwasserleiters sowie Grundwasserentnahmen. In der gesättigten Zone ist unter anderem die Art des Grundwasserleiters für die zeitliche Entwicklung und die Höhe des Basisabflusses relevant. So haben lokal begrenzte Grundwasserleiter (z.B. schwebende Grundwasserleiter) im Gegensatz zu regional ausgebildeten Grundwasserleitern (Hauptaquifer) ein deutlich kleineres Reservoir. Schwebende Grundwasserleiter können im Sommer trockenfallen, womit der Basisabfluss starken jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Des Weiteren haben Grundwasserentnahmen (Trinkwasser, Brauchwasser, Beregnung etc.), Melioration und Gewässerumbau durch die Veränderung der Ausprägung der natürlichen Grundwasseroberfläche ihren Einfluss auf den Basisabfluss.

5.2 Darstellung und Plausibilitätsprüfung der Wasserstands-, Abfluss- und Temperaturganglinien

Die vorhandenen Wasserstands-, Abfluss- und Temperaturganglinien der Pegelmessstellen wurden durch die HWW für den Berichtszeitraum auf Plausibilität geprüft.

Die Temperaturmessung an der Messstelle Wulfsen (Aubach) erfolgt bis zur baulichen Ertüchtigung der Messstelle noch aus dem an das Gewässer angeschlossenen Pegelschacht, wodurch die Ganglinie im Vergleich zur direkten Messung im Gewässer wesentlich glatter verläuft.

Die Temperaturmesswerte an den NLWKN-Messstellen Roydorf, Jehrden, Emmen und Döhle/S sind ein ungeprüftes Nebenprodukt der Drucksonden. Daher findet die Messung i.d.R. im Pegelschacht statt und geben nicht die exakte Wassertemperatur des freien Gewässerprofils wieder.

An der Messstelle Emmen sind zwei unplausible Temperatur Ausreißer zu verzeichnen: Ende Juni (Ausschlag nach oben) sowie im Dezember des Vorjahres (Ausschlag nach unten). Außerdem liegen Datenlücken an der Messstelle Döhle/S von Januar 2024 bis Ende April 2024, sowie an der Messstelle Langeloh bis Anfang Juli 2024 vor. Darüber hinaus konnten im Rahmen der Datenkontrolle keine Auffälligkeiten festgestellt werden.

Eine graphische Darstellung aller Ganglinien ist der Anlage 1 zu entnehmen. Abgebildet ist jeweils der Zeitraum vom Beginn des hydrologischen Jahres 2024, beginnend am 01.11.2023, bis zum Ende des Kalenderjahres 2024. Hierbei wurde zur besseren Veranschaulichung der Abflusskomponenten neben dem Gesamtabfluss (rote Linie) auch der angenommene Verlauf des Basisabflusses nach NATERMANN (grüne Linie) skizziert. Der Abflussanteil oberhalb der Trennlinie kann als Direktabfluss angenommen werden, welcher nur auf Niederschlagsereignisse reagiert und zu kurzzeitigen Abflussspitzen führt. Der Abflussanteil unterhalb der Trennlinie ist der Basisabfluss, welcher sich u.a. aus dem Grundwasser speist. Zusätzlich ist als Vergleichsgröße der 30-jährige Durchschnitt des Basisabflusses als Monatsmittelwerte nach WUNDT (blaue Linie) abgebildet.

An allen Messstellen ist für diesen Zeitraum ein ähnlicher Ganglinienverlauf im Hinblick auf die Abflüsse zu verzeichnen. Dies gilt auch für den zeitlichen Verlauf der Wasserstände, allerdings können hier lokale Faktoren an der jeweiligen Abflussmessstelle wie z.B. der Rückstau durch Verkrautung stärker ins Gewicht fallen.

Nachfolgend wird der typische Verlauf der Abflussganglinien des Jahres 2024 beispielhaft anhand der Abflussmessstelle Marxen (Abbildung 8) beschrieben.

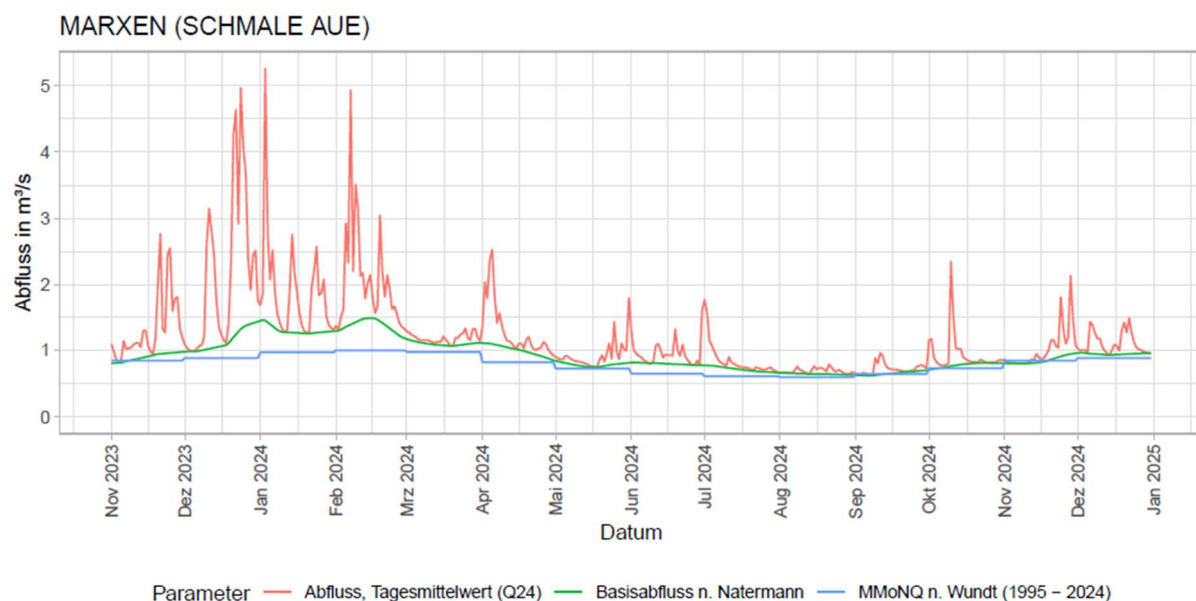


Abbildung 8: Abflussganglinie des Pegels Marxen für das hydrologische Jahr 2024

Der Basisabfluss hängt in seinem Verlauf im Wesentlichen von der Grundwasserneubildung ab, und damit von der Entwicklung des Niederschlags und seiner Möglichkeit zu versickern. Übersteigt die Grundwasserneubildung die bisher als Basisabfluss abfließende Wassermenge, so steigt der Basisabfluss an. Dies ist bei hohen Niederschlägen und insbesondere außerhalb der Vegetationsperiode (geringe Verdunstung) der Fall. Dagegen nimmt der Basisabfluss mit geringen Niederschlägen und in der Vegetationsperiode (hohe Verdunstung) ab, da nur wenig, bis keine Grundwasserneubildung stattfindet. Der Ganglinienverlauf spiegelt somit das Gleichgewicht zwischen der Grundwasserneubildung und dem Basisabfluss wider.

Die stattfindenden Grundwasserentnahmen können prinzipiell zu einer Reduzierung des Basisabflusses führen. Hierbei hängt es von der hydrogeologischen Situation ab, auf welche Gewässer bzw. Gewässerabschnitte sich die Basisabflussreduzierung verteilt.

Das Abflussjahr 2024 begann im November 2023 auf dem Niveau des langjährigen Durchschnitts als Folge des feuchten Vorjahres, welches die zuvor unterdurchschnittlichen Abflüsse ausgleichen konnte. Die weiterhin überdurchschnittlichen Niederschläge im ersten Quartal führten zu einer erhöhten Grundwasserneubildung und die Basisabflüsse nahmen weiter zu und erreichten im Januar und Februar ein deutlich überdurchschnittliches Niveau. In dieser Zeit kam es auch zu mehreren Hochwasserereignissen (Direktabfluss) infolge der außergewöhnlich großen Niederschlagsmengen.

Von April bis Ende September fand aufgrund der Vegetationsphase kaum bis keine Grundwasserneubildung statt. In diesen Monaten verringerte sich der Basisabfluss und glich sich zunehmend dem langjährigen Durchschnitt an.

Zum Stichtag des hydrologischen Jahreswechsels am 01.11.2024 ist der Basisabfluss auf demselben Niveau wie ein Jahr zuvor und als durchschnittlich zu bewerten.

Die Niederschläge im vierten Quartal ließen den Basisabfluss leicht ansteigen, sodass dieser zum Jahresende ein leicht überdurchschnittliches Niveau erreichte.

Die Prüfung aller Ganglinien ergab, dass über einen rein visuellen Abgleich der Kurven an keiner Abflussmessstelle eine Beeinflussung der Abflüsse durch die Förderung der HWW festgestellt werden konnte. Dies ist darin begründet, dass, wie bereits im Hydrologischen Gutachten zum Wasserrechtsantrag [U 3] festgestellt, die meteorologischen Faktoren mit ihrem Einfluss auf den direkten Abfluss und Basisabfluss (Grundwasserneubildung) die Auswirkungen der Grundwasserförderung auf den Basisabfluss um ein Vielfaches übersteigen.

Die Temperaturmessung erfolgt am Ende des Verbindungsrohres zwischen Pegelschacht und Messgerinne, d.h. am Gewässerrand. In Abbildung 9 ist beispielhaft die Temperaturganglinie des Pegels Hanstedt dargestellt. Im Winter betragen die Wassertemperaturen etwa 5 bis 7 °C und steigen im Frühjahr an, bis sie im Sommer knapp 13°C erreichen und ab September wieder sinken. Die gemessenen Wassertemperaturen sind im Jahresverlauf an allen Messstellen grundsätzlich deckungsgleich. Nur an den Messstellen Inzmühlen/S und Inzmühlen/W sind die Wassertemperaturen im Sommer um etwa 1°C kühler.

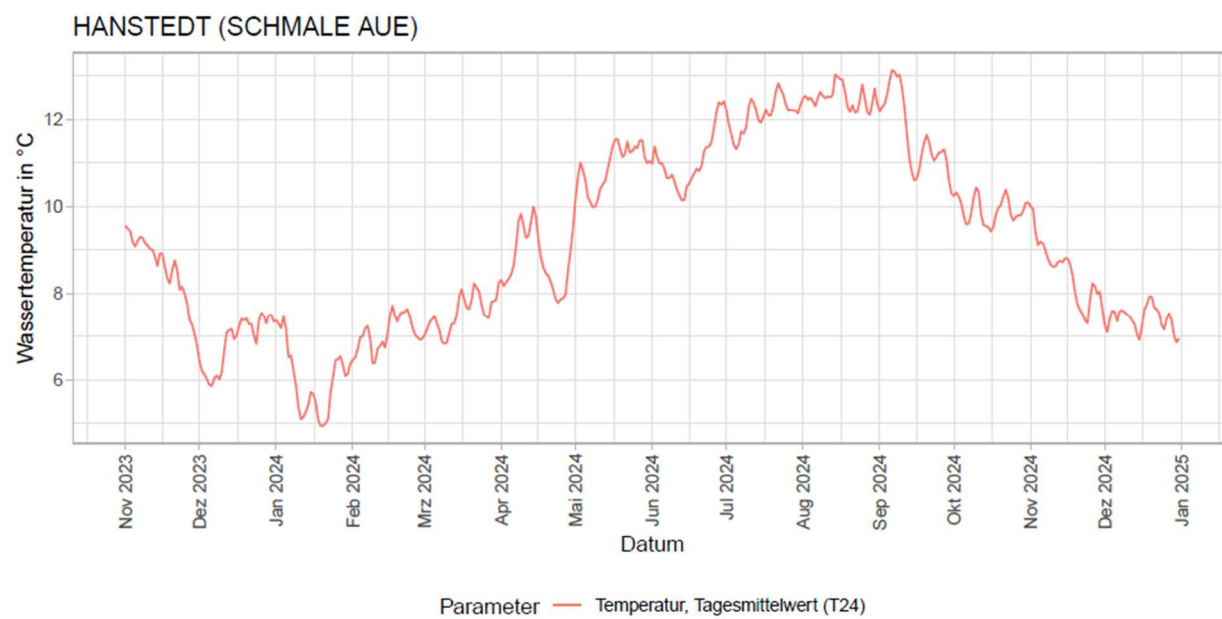


Abbildung 9: Temperaturganglinie des Pegels Hanstedt für das hydrologische Jahr 2024

5.3 Gewässerkundliche Hauptwerte und Ermittlung des Basisabflusses

Für alle Abflussmessstellen wurden die in Tabelle 4 aufgeführten gewässerkundlichen Hauptwerte ermittelt. Diese Hauptwerte sind die gebräuchlichsten statistischen Werte bei der hydrologischen Auswertung. Ihre Bedeutung ist in der DIN 4049-1 und in der DIN 4049-3 definiert.

Tabelle 4: Für die Auswertung ermittelte Gewässerkundlichen Hauptwerte und ihre Bedeutung

Hauptwert	Bedeutung
NQ	Niedrigwasserabfluss [m³/s]
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss [m³/s]
MQ	Mittlerer Abfluss [m³/s]
NM7Q	Das niedrigste arithmetische Mittel von 7 aufeinanderfolgenden Tageswerten in einem Niedrigwasserzeitabschnitt [m³/s]
NW	Niedrigwasserstand [cm]
MNW	Mittlerer Niedrigwasserstand [cm]
MW	Mittelwasserstand [cm]

Auf eine Auswertung der Hochwasserabflüsse wurde verzichtet, da der Fokus der Beweissicherung auf mittleren und Niedrigwasserabflüssen liegt.

Beide ausgewerteten Parameter (Abfluss Q und Wasserstand W) weisen im Wesentlichen dieselben Muster auf. An dieser Stelle wird daher auf eine weitere Beschreibung der Wasserstandshauptwerte verzichtet.

Die Auswertung bezieht sich jeweils auf die letzten 30 hydrologischen Jahre (1995-2024). In dieser Zeitperiode liegen für fast alle Abflussmessstellen kontinuierlich Daten vor. Damit ist ein einheitlicher Aufbau der Datenaufbereitung gewährleistet.

Für alle Abflussmessstellen wurden die gewässerkundlichen Hauptwerte MW und NW (Anlage 2) bzw. MQ und NQ (Anlage 3) in Datenblättern zusammengefasst. Abbildung 10 zeigt beispielhaft das Datenblatt für die Auswertung der mittleren Abflüsse (MQ) an der Abflussmessstelle Marxen, die an der Schmalen Aue liegt. Jede Seite der Auswertung ist in drei Blöcke untergliedert. Oben im Seitenkopf sind Informationen zu den Stammdaten der Abflussmessstellen aufgeführt. In der mittleren Tabelle sind die mittleren bzw. die niedrigsten Abflüsse / Wasserstände je Monat und hydrologischem Jahr aufgeführt. Am Ende einer jeden Zeile werden die hydrologischen Jahre aggregiert betrachtet. Im unteren Block befindet sich eine Tabelle, in der die gewässerkundlichen Hauptwerte für die langjährige Zeitreihe zusammengefasst sind. Die Darstellung orientiert sich an den Vorgaben aus dem LAWA-Pegelhandbuch [U 2].

AEo [km²] 157
PNP [mNN] 17,97
Lage [Fluss-km] 25,80
EZG-Nr 11

Q
m³/s

Pegel MARXEN
Gewässer SCHMALE AUE
Messstellennr 5952124
Betreiber HWW

Mittlere Abflüsse

Abflussjahr	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Jahreswert
1995	1,358	1,644	2,139	2,172	1,827	1,668	1,164	1,132	0,804	0,729	1,043	0,957	1,386
1996	1,101	0,958	0,880	1,511	0,928	0,864	0,875	0,699	0,643	0,593	0,621	0,841	0,876
1997	1,060	1,164	0,795	1,269	1,075	0,913	1,052	0,709	0,710	0,659	0,637	0,737	0,898
1998	0,853	0,935	1,412	0,952	1,376	1,306	0,888	0,960	0,953	0,783	0,914	1,430	1,063
1999	1,540	1,702	1,611	1,791	1,507	1,096	0,924	0,797	0,714	0,665	0,626	0,745	1,143
2000	0,777	1,406	1,173	1,504	2,082	1,047	0,775	0,719	0,818	0,812	0,876	0,843	1,069
2001	0,846	0,976	1,046	1,298	1,124	1,112	0,807	0,961	0,855	0,729	1,622	1,075	1,038
2002	1,311	1,886	1,763	2,376	1,984	1,390	1,422	1,025	1,883	1,753	1,028	1,418	1,603
2003	1,758	1,345	1,919	1,372	1,349	1,039	1,094	0,818	0,755	0,684	0,803	0,870	1,151
2004	0,856	1,087	1,444	1,836	1,224	1,041	0,941	0,885	1,016	0,750	0,817	0,864	1,063
2005	1,192	1,102	1,399	1,422	1,371	0,964	1,094	0,862	1,126	1,085	0,825	0,929	1,114
2006	0,985	1,287	1,195	1,325	1,289	1,415	1,099	0,856	0,646	0,897	0,753	0,790	1,045
2007	1,075	0,991	1,736	1,492	1,662	0,987	1,133	1,289	1,317	0,941	1,151	1,117	1,241
2008	1,821	1,907	2,246	1,577	2,437	1,514	1,110	0,904	1,366	1,086	0,926	1,263	1,513
2009	1,337	1,259	1,304	1,334	1,560	1,083	0,951	0,879	0,865	0,741	0,740	1,023	1,090
2010	1,358	1,430	1,033	1,330	1,661	1,072	1,097	0,846	0,572	0,870	1,084	0,938	1,108
2011	1,379	1,208	1,616	1,763	1,108	0,876	0,690	0,644	0,786	0,907	0,896	0,884	1,063
2012	0,783	1,773	2,381	1,366	1,100	1,017	0,827	0,911	0,912	0,753	0,820	1,093	1,145
2013	0,959	1,230	1,471	1,500	1,027	0,989	1,483	1,117	0,786	0,699	0,814	1,027	1,092
2014	1,127	1,334	1,103	1,069	0,900	0,852	0,890	0,640	0,741	0,612	0,665	0,754	0,891
2015	0,779	1,452	1,547	0,989	1,041	0,936	0,713	0,638	0,623	0,836	0,841	0,909	0,942
2016	1,528	1,318	1,211	1,884	1,070	0,960	0,785	0,805	0,732	0,622	0,638	0,686	1,020
2017	0,934	0,907	0,978	1,095	1,163	0,859	0,942	0,832	1,179	0,961	0,858	1,428	1,011
2018	1,512	1,525	2,014	1,260	1,240	1,084	0,666	0,591	0,518	0,531	0,533	0,569	1,004
2019	0,590	0,963	1,098	0,902	1,091	0,650	0,640	0,557	0,420	0,424	0,512	1,004	0,738
2020	0,945	1,020	0,984	1,670	1,085	0,595	0,544	0,552	0,536	0,470	0,479	0,560	0,787
2021	0,623	0,748	0,911	0,983	1,045	0,682	0,838	0,576	0,567	0,655	0,691	0,735	0,754
2022	0,792	0,959	1,101	1,876	0,825	0,856	0,604	0,526	0,505	0,491	0,627	0,618	0,815
2023	0,588	0,712	1,243	1,182	1,145	0,939	0,778	0,607	0,618	0,925	0,587	0,966	0,858
2024	1,332	2,144	1,887	2,075	1,183	1,293	0,926	0,953	0,846	0,691	0,722	0,938	1,249

Langjährige Zeitreihe (1995 - 2024)

Jahr	2019	2021	2021	2017	2021	2020	2020	2019	2019	2019	2019	2018	2019
NQ m ³ /s	0,520	0,550	0,686	0,650	0,657	0,510	0,460	0,424	0,257	0,312	0,357	0,479	0,257
MNQ m ³ /s	0,844	0,884	0,965	0,998	0,974	0,820	0,726	0,649	0,607	0,596	0,643	0,730	0,786
MQ m ³ /s	1,103	1,279	1,421	1,472	1,316	1,037	0,925	0,810	0,827	0,778	0,805	0,934	1,059

Abbildung 10: Ermittlung der gewässerkundlichen Hauptwerte am Beispiel MQ Marxen

Tabelle 5 weist für jede Abflussmessstelle, sofern entsprechende Daten vorliegen, den MQ für den langjährigen Zeitraum von 1995 bis 2024 (MQ langj. Zeitr.) und den MQ 2024 aus.

Tabelle 5: Zusammenfassung der gewässerkundlichen Hauptwerte 2024 sowie Basisabfluss nach WUNDT

		Langjährige Zeitreihe		Beobachtungsperiode: 2024					Basisabfluss	
	Pegel	Von	Bis	MQ Langj Zeitr. m³/s	MQ 2024 m³/s	MQ 2024 % der langj. Zeitr. %	NQ 2024 m³/s	NM7Q 2024 m³/s	Basis- abfluss (Wundt) langj. Zeitreihe m³/s	Anteil Basis- abfluss am MQ langj. Zeitreihe %
Este	WELLE	1995	2024	0,076	0,100	132 %	0,061	0,039	0,057	75 %
	LANGELOH	1995	2024	0,287	0,386	134 %	0,181	0,098	0,237	83 %
	EMMEN	1995	2024	1,702	2,124	125 %	1,220	0,863	1,367	80 %
Seeve	INZMÜHLEN/S	1995	2024	0,364	0,393	108 %	0,294	0,250	0,341	94 %
	THELSTORF	1995	2024	0,936	1,020	109 %	0,698	0,621	0,837	89 %
	JEHRDEN	1995	2024	4,016	4,427	110 %	2,530	2,140	3,526	88 %
Weseler Moorbach	INZMÜHLEN/W	1995 2021	2004 2024	0,082	0,100	122 %	0,062	0,058	0,068	83 %
Weseler Bach	KOHR-S-M1	1995	2024	0,064	0,051	80 %	0,031	0,029	0,053	83 %
Schmale Aue	DÖHLE/S	1995	2024	0,115	0,171	149 %	0,054	0,028	0,088	77 %
	HANSTEDT	1995	2024	0,739	0,866	117 %	0,431	0,353	0,587	79 %
	MARXEN	1995	2024	1,057	1,247	118 %	0,619	0,530	0,833	79 %
Aubach	TOPPENSTEDT	1995	2024	0,068	0,102	150 %	0,024	0,012	0,035	51 %
	WULFSEN	1995	2024	0,419	0,506	121 %	0,234	0,083	0,325	78 %
Nordbach	SALZHAUSEN	1995	2024	0,161	0,192	119 %	0,062	0,028	0,117	73 %
Luhe	ROYDORF	1995	2024	4,347	4,996	115 %	2,890	2,226	3,807	88 %

Anteil der Fließstrecke im Bereich schwebender Grundwasserstockwerke: < 50 %; > 50 %; > 75 %

Des Weiteren wird das Verhältnis vom MQ des Berichtsjahres (MQ 2024) zum MQ der langjährigen Zeitreihe (MQ langj. Zeitr.) dargestellt. Der in den Abflussmessstellen gemessene MQ war im Jahre 2024 sowohl deutlich höher als im Vorjahr als auch höher im Vergleich zum MQ der langjährigen Zeitreihe. Die einzige Ausnahme bildet die Abflussmessstelle Kohrs-M1, welche zwar ihren MQ von 0,037 (2023) auf 0,051 (2024) um 37 % steigern konnte, aber im Vergleich zum langjährigen MQ mit 80 % immer noch unterdurchschnittlich ist.

Die gestiegenen Abflüsse können, wie am Beispiel Marxen beschrieben, auf die meteorologischen Bedingungen des Berichtsjahres sowie des Vorjahres zurückgeführt werden.

Die höchsten Überschüsse des MQ 2024 gegenüber der langjährigen Zeitreihe wurden an den Abflussmessstellen Toppenstedt und Döhle/S gemessen, die als Gemeinsamkeit ein sehr kleines Einzugsgebiet aufweisen und mit einem vergleichsweise hohen Anteil aus schwebenden Grundwasserleitern gespeist werden.

Da Grundwasserentnahmen nur Einfluss auf den Basisabfluss haben können, ist der Anteil des Basisabflusses am Gesamtabfluss eines Fließgewässers eine wichtige Größe, um die Beeinflussbarkeit eines Gewässerabschnittes abschätzen zu können.

In Tabelle 5 ist für jede Abflussmessstelle der ermittelte Basisabfluss nach WUNDT (Basisabfluss langj. Zeitr.) dargelegt. Die Basisabflüsse betragen im Schnitt etwa 70 % - 90 % des Gesamtabflusses der betrachteten Oberflächengewässer. Am Aubach ist der Anteil des Basisabflusses geringer (ca. 50 % - 70 %). Somit besteht der Großteil des Gesamtabflusses der Oberflächengewässer aus Grundwasser, welches diesen aus Grundwasserleitern zuströmt. Hierbei wird auch der Basisabfluss, der aus schwebenden Grundwasserleitern dem Gewässer zuströmt erfasst. Aufgrund des nicht vorhandenen hydraulischen Kontaktes zum Förderhorizont kann der aus schwebenden Grundwasserleitern stammende Basisabfluss nicht durch Grundwasserentnahmen beeinflusst werden. Wie viel Fließstrecke der Gewässer im Einzugsgebiet der jeweiligen Abflussmessstellen aus dem schwebenden Grundwasserstockwerk gespeist werden, ist ebenfalls Tabelle 5 zu entnehmen. Je höher dieser Anteil, desto geringer ist ein möglicher Einfluss von Grundwasserentnahmen auf den Abfluss an diesen Abflussmessstellen.

Die Grundwasserleiter in schwebenden Stockwerken sind lokal begrenzt und befinden sich in topografischen Hochlagen. Sie entwässern daher als Basisabfluss direkt in die höher gelegenen Oberläufe der Oberflächengewässer und reagieren aufgrund ihres geringen Speichervolumens hinsichtlich ihrer Wasserführung unmittelbar auf Schwankungen der Grundwasserneubildung als die darunter liegenden, mächtigeren und flächenhaft verbreiteten Grundwasserleiter. Da der Basisabfluss der an den Abflussmessstellen Döhle/S und Toppenstedt zu großen Anteilen aus schwebenden Grundwasserstockwerken gespeist wird, sind die hohen Abflussmengen im Jahre 2024 mit hoher Wahrscheinlichkeit auf diese beschriebenen Besonderheiten zurückzuführen.

Der geringste Überschuss des MQ 2024 im Vergleich zur langjährigen Zeitreihe wurde mit 8 % in der Abflussmessstelle Inzmühlen/S festgestellt. Zurückzuführen ist dies auf den mit 93 % sehr hohen Anteil des Basisabflusses bezogen auf den Gesamtabfluss. Dadurch reagieren die Abflüsse weniger intensiv auf die Witterung und bleiben in trockenen, wie in feuchten Jahren stabil.

Auf die Entwicklung der ebenfalls in Tabelle 5 dargestellten Niedrigwasserabflüsse (MN7Q) wird im Rahmen der Trendanalyse in Kapitel 5.4 eingegangen.

5.4 Trendanalyse der Niedrigwasserabflüsse NM7Q

In den nachfolgenden Kapiteln werden die in den Abflussmessstellen ermittelten Daten statistisch ausgewertet und auf Trends der Niedrigwasserabflüsse (NM7Q) untersucht.

5.4.1 *Allgemeines*

Die Analyse von Abflusszeitreihen ist eine etablierte Methode zur Identifikation von Trends und damit ein Instrument, um zukünftige Entwicklungen eines Abflussregimes abzuschätzen. Standen früher Analysen zu Hochwasserabflüssen im Mittelpunkt, so wurde seit dem sehr trockenen Jahr 2003 auch vermehrt Untersuchungen des Niedrigwasserabflusses durchgeführt. Niedrigwasser sind natürliche Ereignisse, die typischerweise durch ein Zusammenspiel verschiedener Witterungskonstellationen entstehen. Ihre Ursache ist häufig Niederschlagsmangel in Verbindung mit einer hohen Verdunstung. Ein vermehrtes Auftreten von Niedrigwasserereignissen kann aber auch mit einer verringerten Grundwasserneubildung infolge langfristiger Veränderungen der Landnutzung zusammenhängen.

Für die hydrologische Analyse des Niedrigwasserabflusses wurde vom Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) 1983 ein Regelwerk [U 3] veröffentlicht, welches Analyseverfahren für Ganglinien beschreibt. Diese Ganglinienanalysen berücksichtigen keine gewässerökologischen Aspekte, sondern sind ein rein deskriptiv-statistisches Verfahren. Als Parameter für die Beschreibung von Niedrigwasserabflüssen wurde vom DVWK das kleinste arithmetische Mittel von sieben aufeinanderfolgenden Tagen (NM7Q) innerhalb einer Bezugsperiode gewählt.

Zur Überprüfung des Niedrigwasserzeitabflusses NM7Q auf zeitliche Trends an den Abflussmessstellen der Beweissicherung Nordheide wurden entsprechend der Nebenbestimmung in der Gehobenen Erlaubnis [U 8] nachfolgend lineare Regressionsanalysen gemäß DVWK-Regelwerk 120/1983 durchgeführt.

Die Vorgaben der genannten DVWK-Regeln sehen eine Auswertung des Wasserbilanzjahres (jeweils vom 01.04. bis zum 31.03. des Folgejahres) anstelle des hydrologischen Jahres als Bezugsperiode vor. Dadurch wird die Unabhängigkeit einzelner Bezugsperioden gewährleistet, da Niedrigwasserereignisse in der Regel im Sommer, oder seltener frostbedingt im Winter auftreten. Durch die Wahl des Wasserbilanzjahres als Bezugszeitraum wird ausgeschlossen, dass das gleiche Niedrigwasserereignis in zwei aufeinanderfolgenden Jahren gewertet wird. Dieser Umstand führt dazu, dass für das Berichtsjahr nur ein unvollständiges Wasserbilanzjahr (01.04. bis 31.12.) vorliegt, welches allerdings die besonders relevanten Sommermonate umfasst.

5.4.2 *Methodik der Berechnungsverfahren*

Gemäß der DVWK-Regel 120/1983 wurde durch alle jährlichen Werte des NM7Qs an einem Pegel eine lineare Trendgerade gelegt und die Steigung der Geraden bestimmt. Durch bestmögliche Anpassung der Trendgeraden an die Messwerte mittels linearer Regression wird der Betrag der Abweichungen zwischen den Werten auf der Geraden und den Messwerten minimiert. Die Trendgerade stellt somit die bestmögliche lineare Abbildung der Ganglinie dar.

Mithilfe des t-Tests (STUDENT-Test) wird untersucht, ob die Steigung signifikant von 0 abweicht und damit einen Trend aufweist. Bei der Prüfung wurde ein 2-seitiger Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0,05$ (5 %), einem in der Statistik üblichen Wert, verwendet. Der Wert bedeutet, dass ein als signifikant ausgewiesener Trend mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit zutrifft. Voraussetzung für die statistisch korrekte Anwendung des t-Tests ist, dass die Grundgesamtheit der Daten normalverteilt ist. Da dies bei Abflussdaten im Allgemeinen und bei den ausgewerteten Daten im Speziellen nicht immer der Fall ist, sind die Testergebnisse nur Näherungswerte.

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind zwei Werte von Bedeutung: zum einen die Steigung b der Trendgeraden und zum anderen der Signifikanzwert p . Die Steigung gibt die Richtung des Trends an und zeigt dessen Stärke. Die Steigung ist die langfristige, über den analysierten Zeitraum durchschnittliche Abflussänderung pro Jahr in $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{a})$. Zur besseren Vergleichbarkeit von Steigungswerten bei Gewässern mit grundlegend verschiedenen Abflussmengen wurde die Steigung zusätzlich als prozentualer Wert angegeben. Dieser Wert beschreibt die durchschnittliche prozentuale NM7Q-Abflussänderung pro Jahr, bezogen auf den NM7Q-Mittelwert des Auswertungszeitraums und ist dimensionslos.

Der p -Wert ist der Signifikanzwert, der angibt, ob die berechnete Steigung nur zufällig von Null abweicht, oder ob der Trend statistisch signifikant ist. Letzteres ist gegeben, wenn der p -Wert kleiner ist, als die angesetzte Irrtumswahrscheinlichkeit des t-Tests. Bei der standardmäßig verwendeten Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0,05$ bedeutet dies, dass alle Steigungen mit einem p -Wert von kleiner als 0,05 als signifikant oder „nicht zufällig“ eingestuft werden können. Je kleiner der p -Wert, desto wahrscheinlicher ist es zudem, dass ein nicht zufälliger Trend vorliegt. Nur die Kombination beider Werte (Steigung und p -Wert) lässt eine sinnvolle Interpretation der Ergebnisse zu. Zeigt z.B. eine Trendgerade einen abfallenden Trend, der p -Wert ist aber dabei größer oder gleich 0,05, dann bedeutet dies, dass der ermittelte Trend nur als zufällig gewertet werden kann. Je näher der p -Wert an 1 liegt, desto weniger kann von einem statistisch belastbaren Trend die Rede sein.

Von besonderer Bedeutung für die Trendanalyse ist die Wahl der Auswertezeiträume. Allgemein gilt, je länger die zu analysierende Zeitreihe ist, desto besser lassen sich gesicherte Aussagen über die zeitliche Entwicklung des Parameters treffen. Die Beobachtungsspanne sollte dabei nach Möglichkeit nicht kleiner als 30 Jahre sein. Vertrauenswürdige Ergebnisse sind also nur dann möglich, wenn ausreichend lange Zeitreihen vorliegen. Eine Übersicht über die statistische Aussagesicherheit gibt die folgende Tabelle 6:

Tabelle 6: Aussagekraft von Messzeitlängen in der Hydrologie (nach DVWK, 1999 [U 5])

Beobachtungszeitspanne	statistische Aussage
< 10 Jahre	unbrauchbar
10 – 20 Jahre	abschätzend
20 – 30 Jahre	bedingt geeignet
> 30 Jahre	geeignet

Da die zeitliche Variabilität des Abflusses in hohem Maße von Witterungsparametern abhängt, wirken sich Anfangs- und Endpunkt der Auswertung, insbesondere bei kurzen Beobachtungszeiträumen, wesentlich auf die Ergebnisse aus.

5.4.3 Datenumfang und Auswertungszeiträume

Für alle 15 Abflussmessstellen liegen Daten seit Beginn der Förderung Anfang der 1980er Jahre vor (vgl. Tabelle 1). Für elf Abflussmessstellen gibt es darüber hinaus aufgezeichnete Wasserstands- und Abflusswerte, die auch die Periode vor Förderbeginn durch die HWW über unterschiedlich lange Zeiträume abdecken. Die längsten verfügbaren Zeitreihen beginnen an vier Abflussmessstellen Ende der 1950er bzw. Anfang der 1960er Jahre und weisen damit Beobachtungszeiträume von mehr als 50 Jahren aus. Insgesamt ist die Zeitreihenlänge für 14 Abflussmessstellen länger als 30 Jahre. Damit sind diese Abflussmessstellen gemäß DVWK als geeignet einzustufen. Die Station Inzmühlen/W wurde im Zeitraum von 1983 bis 2005 betrieben, ab dem Jahre 2021 wurde der Messbetrieb dann wieder aufgenommen, es liegen somit erst wenige Messdaten seit der Wiederinbetriebnahme vor. Gemäß der oben benannten Definition sind die aus dieser Abflussmessstelle vorliegenden Daten nur "bedingt geeignet" für statistische Auswertungen.

Die Auswertungen der Trendanalyse fokussieren sich vorwiegend auf den Zeitraum seit Förderbeginn durch HWW (1983-2024). Damit wird der Frage nachgegangen, ob sich die Förderung des Wasserwerks Nordheide nachhaltig auf die Niedrigwasserabflüsse ausgewirkt haben. Die ersten Brunnen des Wasserwerks wurden im Herbst 1982 in Betrieb genommen, jedoch wurden erst im Kalenderjahr 1983 aus allen Brunnen Grundwasser gefördert.

Die Trendanalyse der Niedrigwasserabflüsse wurde zusätzlich für den jeweils gesamten Messzeitraum einer Abflussmessstelle durchgeführt, somit wurden alle verfügbaren Daten der Abflussmessstellen im Untersuchungsgebiet berücksichtigt.

Für einige Abflussmessstellen wurden so Zeitreihen von mehr als 50 Jahren ausgewertet, was die Verlässlichkeit der Aussagen erhöht. Jedoch sind die Aussagen zu den Trends nur bedingt vergleichbar, da der Aufzeichnungsbeginn bei fast allen Abflussmessstellen unterschiedlich ist.

Eine weitere Unterteilung der Betrachtungszeiträume, etwa in die Zeiträume von Beginn der Messungen bis Förderbeginn oder ab den wasserrechtlichen Genehmigungen von 2004 und 2019, war aufgrund der hierdurch entstehenden, für verlässliche Aussagen zu kurzen Beobachtungszeiträume nicht sinnvoll.

5.4.4 Erläuterung der Auswertung exemplarisch am Beispiel der Messstelle Marxen

Eine graphische Darstellung aller NM7Q-Ganglinien samt Regressionsgeraden ist der Anlage 4 zu entnehmen. Nachfolgend wird die Entwicklung des NM7Q beispielhaft anhand der Abflussmessstelle Marxen beschrieben (Abbildung 11). Dargestellt sind die NM7Q-Zeitreihen seit Messbeginn (grau, teilweise überlagert von blau) und seit Förderbeginn (blau) sowie die ermittelten Regressionsgeraden samt der Werte b (Steigung) und p (Signifikanzwert). Für die Erläuterung am Beispiel Marxen wurde zusätzlich der Jahresniederschlag als Abweichung vom Mittelwert der letzten 30 Jahre (1991 - 2020) dargestellt.

Wie zuvor erläutert wird der in den Oberflächengewässern gemessene Abfluss maßgeblich durch den Niederschlag beeinflusst. Der Niederschlag strömt den Oberflächengewässern als Direktabfluss, Zwischenabfluss oder indirekter Abfluss (Basisabfluss) über das Grundwasser zu. Weist ein Jahr ein Niederschlagsdefizit auf, so nimmt der NM7Q im Vergleich zum Vorjahr üblicherweise ab. Liegt hingegen ein Niederschlagsüberschuss vor, steigt der NM7Q im Allgemeinen.

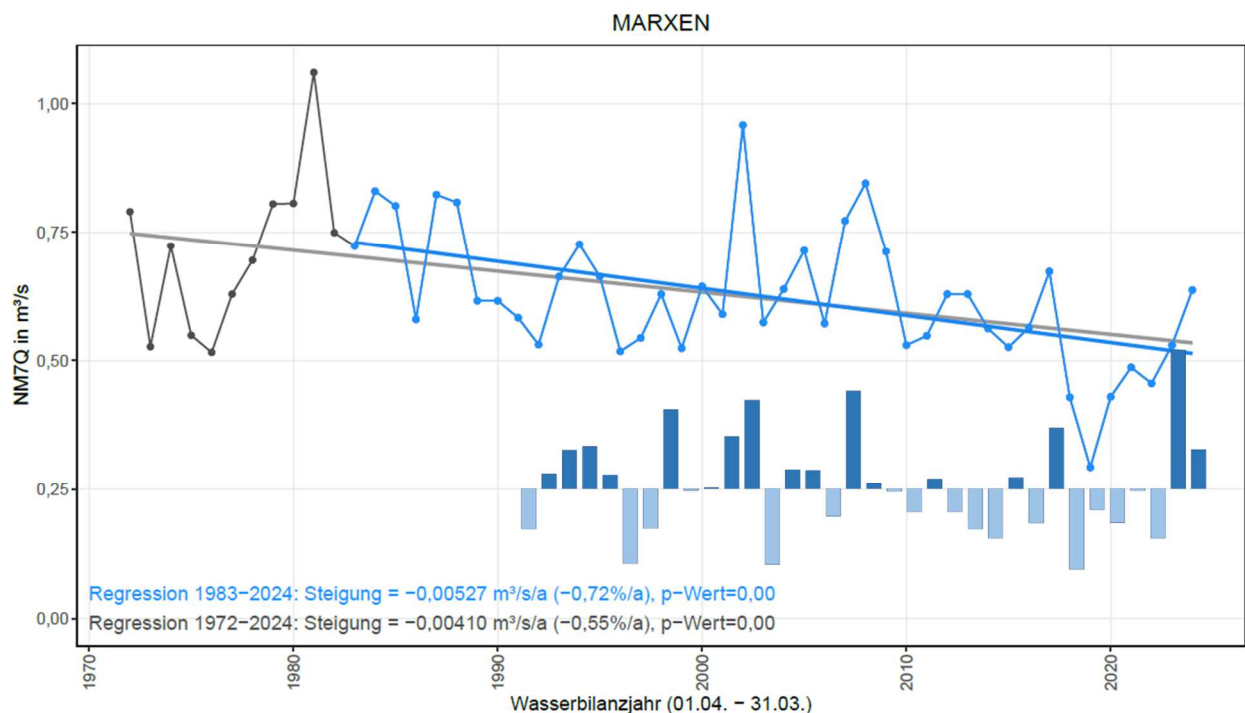


Abbildung 11: Entwicklung des Niedrigwasserzeitabflusses NM7Q an der Abflussmessstelle Marxen sowie die Jahresniederschläge als Abweichung vom Mittel (1991 – 2024) an der Station Soltau

Diese Abflussänderungen hängen im Wesentlichen von dem jeweiligen Anteil des Direktabflusses am Gesamtabfluss sowie dem Speichervolumen des speisenden Grundwasserleiters ab. Ist der Anteil des Basisabflusses am Gesamtanteil höher, wirken sich Grundwasserneubildungsüberschüsse und -defizite mitunter erst in den Folgejahren aus.

Aufgrund der überwiegend trockenen Jahre in der letzten Dekade ist der Niedrigwasserabfluss der Wasserbilanzjahre 2018 bis 2022 als sehr gering einzustufen. Die überdurchschnittlichen Niederschläge des Jahres 2023 führten zu einer deutlichen Zunahme des Niedrigwasserabflusses im Wasserbilanzjahr 2023 gegenüber 2022. Das niederschlagsreiche Berichtsjahr 2024 führte wiederum zu einem weiteren Anstieg des NM7Q im Wasserbilanzjahr 2024¹ gegenüber 2023, sodass wieder ein durchschnittliches Niveau erreicht wurde.

Für das Beispiel Marxen wird für den gesamten Messzeitraum (1972 – 2024) ein negativer Trend mit einer Steigung von -0,55 %/Jahr nachgewiesen, der statistisch signifikant ist ($p = 0,00$). Die negative Steigung der Regressionsgeraden seit Beginn der Grundwasserförderung (1983 – 2024)

¹ Wasserbilanzjahr endet am 31.03. des Folgejahres. Abflussdaten liegen bis 31.12. des Berichtsjahres vor. Es ist unwahrscheinlich, dass der NM7Q zwischen dem 01.01. und dem 31.03. stattfindet.

beträgt -0,72 %/Jahr und ist ebenfalls signifikant ($p = 0,00$). Somit ist die Abnahme der Niedrigwasserabflüsse über beide Betrachtungszeiträume statistisch gesichert. Ein Einfluss, der ab 1983 einsetzenden Grundwasserentnahme auf die Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse kann rein aus dem Trend allerdings nicht abgeleitet werden, da bei der Interpretation insbesondere auch weitere Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen. Wie dargestellt, haben Änderungen der jährlichen Niederschlagsmengen den maßgeblichen Einfluss auf die Abflussmengen in Oberflächengewässern. Zusätzlich können anthropogene Einflüsse die Abflussmengen über direkte Entnahmen oder Einleitungen, durch veränderte Landnutzung (Waldentwicklung, Intensivierung der Landwirtschaft und Flächenversiegelung) oder durch die Verringerung des Basisabflusses durch Grundwasserentnahmen beeinflussen.

5.4.5 Ergebnisse der NM7Q-Trendanalyse

Die Ergebnisse aller Trendanalysen sind in Tabelle 7 zusammengefasst und werden nachfolgend erläutert.

Wie in Kapitel 5.4.3 erläutert, wurden in elf Abflussmessstellen bereits Abflussmessungen vor Förderbeginn durchgeführt. Für diese Abflussmessstellen wurden für den gesamten Beobachtungszeitraum Trendanalysen durchgeführt. Nur für die Abflussmessstellen Inzmühlen/S, Inzmühlen/W, Thelstorf und Kohrs-M1 lagen für die Zeit vor Förderbeginn keine Daten vor.

Die Auswertung der Trendanalyse für den Förderzeitraum erfolgte in der Regel für 42 Jahre. Am Pegel Inzmühlen/W wurden die Messungen Ende 2004 eingestellt, sodass hier nur eine verkürzte Zeitreihe bis einschließlich des Wasserbilanzjahres 2003 ausgewertet werden konnte. An der Abflussmessstelle Kohrs-M1 lagen erst seit dem Wasserbilanzjahr 1990 Messungen vor, sodass hier eine 35 Jahre umfassende Zeitreihe ausgewertet wurde. Die Ergebnisse aus diesen Berechnungen sind gemäß Tabelle 6 mittlerweile zwar als geeignet zu bewerten, aufgrund des abweichenden Zeitraums sind Vergleiche der Trends gegenüber den übrigen Abflussmessstellen weiterhin mit Vorsicht zu betrachten. Somit konnten die Ergebnisse aus 13 Abflussmessstellen für Trendanalysen des Förderzeitraums uneingeschränkt sowie Kohrs-M1 und Inzmühlen/W eingeschränkt verwendet werden.

Für den Gesamtzeitraum konnten die Daten aus elf Abflussmessstellen ausgewertet werden. Für neun Abflussmessstellen wurde ein signifikanter Trend festgestellt. Alle ermittelten Trends waren negativ. Die nicht signifikanten Trends waren positiv (Welle) bzw. negativ (Emmen).

Für den Zeitraum seit Förderbeginn konnten aus 13 Abflussmessstellen die Daten uneingeschränkt sowie von zwei Abflussmessstellen unter Vorbehalt bewertet werden. An elf Abflussmessstellen waren die Trends signifikant. Alle signifikanten Trends waren negativ. Für vier Abflussmessstellen wurde ein nicht signifikanter Trend berechnet. Von den nicht signifikanten Trends waren drei Trends negativ und ein Trend positiv.

Tabelle 7: Ergebnisse der NM7Q-Trendanalyse

		Beobachtungsperiode: Gesamter Zeitraum (GG)						Beobachtungsperiode: 1983-2024 (SP 2)						
	Pegel	Zeitraum		Anzahl Jahre	Steigung m³/(s*a)	Steigung %	p-Wert	Zeitraum		Anzahl Jahre	Steigung m³/(s*a)	Steigung [%]	p-Wert	Veränderung GG vs. SP 2
		von	bis					von	bis					
Este	WELLE	1973	2024	52	0,00011	0,27	0,510	1983	2024	42	0,00025	0,68	0,168	
	LANGELOH	1957	2024	68	-0,00079	-0,42	0,007	1983	2024	42	-0,00081	-0,49	0,114	x
	EMMEN	1957	2024	68	-0,00200	-0,17	0,117	1983	2024	42	-0,00240	-0,22	0,326	
Seeve	INZMÜHLEN/S							1983	2024	42	-0,00097	-0,29	0,011	
	THELSTORF							1983	2024	42	-0,00377	-0,48	0,001	
	JEHRDEN	1962	2024	63	-0,01427	-0,42	0,000	1983	2024	42	-0,01749	-0,56	0,001	
Weseler Moorbach	INZMÜHLEN/W							1983 2021	2003 2024	26	-0,00005	-0,08	0,622	
Weseler Bach	KOHRM-M1							1990	2024	35	-0,00070	-1,32	0,002	
Schmale Aue	DÖHLE/S	1979	2024	46	-0,00122	-1,32	0,000	1983	2024	42	-0,00106	-1,28	0,000	
	HANSTEDT	1973	2024	52	-0,00381	-0,68	0,000	1983	2024	42	-0,00461	-0,86	0,000	
	MARXEN	1972	2024	53	-0,00410	-0,55	0,001	1983	2024	42	-0,00527	-0,72	0,001	
Aubach	TOPPENSTEDT	1982	2024	53	-0,00029	-1,24	0,010	1983	2024	42	-0,00031	-1,31	0,008	
	WULFSEN	1972	2024	53	-0,00345	-1,05	0,000	1983	2024	42	-0,00308	-1,10	0,000	
Nordbach	SALZHAUSEN	1977	2024	48	-0,00119	-1,05	0,000	1983	2024	42	-0,00096	-0,97	0,000	
Luhe	ROYDORF	1962	2024	63	-0,01084	-0,32	0,001	1983	2024	42	-0,01490	-0,45	0,004	

grün: Beobachtungsperiode > 50 Jahre

grau: Beobachtungsperiode < 30 Jahre

$\alpha = 0.05$, 2-seitig

fett: signifikanter Trend

Es zeigten sich räumliche Unterschiede in Bezug auf die Steigung und Signifikanz der ermittelten Trends.

Im Flussgebiet der Este konnte für den Gesamtzeitraum nur für die Abflussmessstellen Langeloh ein signifikanter Trend festgestellt werden. Der Trend war negativ. Für den Zeitraum seit Förderbeginn des WW Nordheide wurde in keiner Abflussmessstelle ein signifikanter Trend nachgewiesen. Die nicht signifikanten Trends waren in den Abflussmessstellen Langeloh und Emmen negativ und in der Abflussmessstelle Welle positiv.

Im Flussgebiet der Seeve wurden für den Zeitraum seit Förderbeginn an den Abflussmessstellen Inzmühlen/S, Thelstorf, Jehrden und Kohrs-M1 signifikante Trends berechnet. Die ermittelten Trends sind alle negativ. Der nicht signifikante Trend für die Abflussmessstelle Inzmühlen/W ist negativ.

Für den gesamten Zeitraum seit Messbeginn liegen ausschließlich Daten für die Abflussmessstelle Jehrden vor, für die ein signifikanter Trend berechnet wurde. Der Trend der Abflussmessstelle Jehrden ist negativ.

Im Flussgebiet der Schmalen Aue weisen alle ausgewerteten Abflussmessstellen für den Gesamtzeitraum und für den Zeitraum seit Förderbeginn einen signifikanten Trend auf. Die ermittelten Trends sind alle negativ.

Im Flussgebiet der Luhe und ihren Nebenflüssen wurde für den Zeitraum seit Förderbeginn an den Abflussmessstellen des Aubachs (Toppenstedt, Wulfsen) signifikante Trends berechnet. Diese Trends sind negativ. Auch für die Abflussmessstellen Roydorf und Salzhausen konnten signifikante Trends ermittelt werden. Diese Trends sind ebenfalls negativ. In der Betrachtung des gesamten Zeitraums seit Förderbeginn weisen alle vier Abflussmessstellen an der Luhe und ihren Nebenflüssen einen signifikanten Trend mit abnehmender Tendenz auf. Da für die Abflussmessstelle Toppenstedt der Gesamtbeobachtungszeitraum mit 39 Jahren nur ein Jahr länger ist, als bei einer Betrachtung des Förderzeitraums, sind hier aus statistischer Sicht keine Abweichungen zu erwarten.

Alle signifikanten Trends, unabhängig vom jeweils betrachteten Zeitraum, sind, offenbar witterungsbedingt, in der Auswertung negativ. Der Vergleich der für den Gesamtzeitraum festgestellten Trends mit den Trends für den Förderzeitraum weist für keine der Abflussmessstellen eine deutliche Verstärkung der negativen Steigung mit Einsetzen der Grundwasserentnahme durch HWW auf. Die stärksten abnehmenden Trends der Niedrigwasserabflussmengen seit Förderbeginn wurden an den Abflussmessstellen Toppenstedt, Döhle/S und Kohrs-M1 beobachtet, wobei für Kohrs-M1 aufgrund der kürzeren Zeitreihe nur bedingt Aussagen getroffen werden können. Wie in Kapitel 5.3 erläutert, werden die Gewässer im Oberlauf der Abflussmessstellen Toppenstedt und Döhle/S überwiegend durch den Basisabfluss aus schwebenden Grundwasserleitern gespeist. Aufgrund des geringeren Speichervolumens der schwebenden Grundwasserleiter wird die Höhe des Basisabflusses hier stark durch die Witterung beeinflusst, weshalb sich die trockenen Jahre zwischen 2012 und 2022 besonders negativ auf den NM7Q ausgewirkt haben.

5.4.6 Bewertung der NM7Q-Entwicklung mittels Doppelsummenanalyse

Die Doppelsummenanalyse in der Hydrologie wird zur Bewertung der zeitlichen Entwicklung einer Zeitreihe (Prüfserie) gegenüber einer Referenzserie eingesetzt. Hierzu werden die zu vergleichenden Zeitreihen aufsummiert und graphisch gegeneinander aufgetragen.

In diesem Fall werden die NM7Q-Jahreswerte aus der Nordheide (Prüfserien) mit einer NM7Q-Zeitreihe aus der Südheide (Abflussmessstelle Luttern / Referenzserie) verglichen. Die Abflussmessstelle Luttern wurde als Referenz gewählt, weil in ihrem Einzugsgebiet kaum Grundwasserentnahmen vorkommen. Die Messungen in Luttern beginnen im Jahr 1984 und damit kurz nach Inbetriebnahme des WW Nordheide.

Entwickeln sich die Niedrigwasserabflüsse in der Nordheide gleichermaßen zu denen in der Südheide (Lutter), so ergibt sich im Diagramm ein linearer Verlauf. Dies ist in Abbildung 12 exemplarisch Pegel Marxen dargestellt. Ein Knick hingegen deutet auf eine bleibende Beeinflussung hin, ein Sprung auf eine einmalige Beeinflussung.

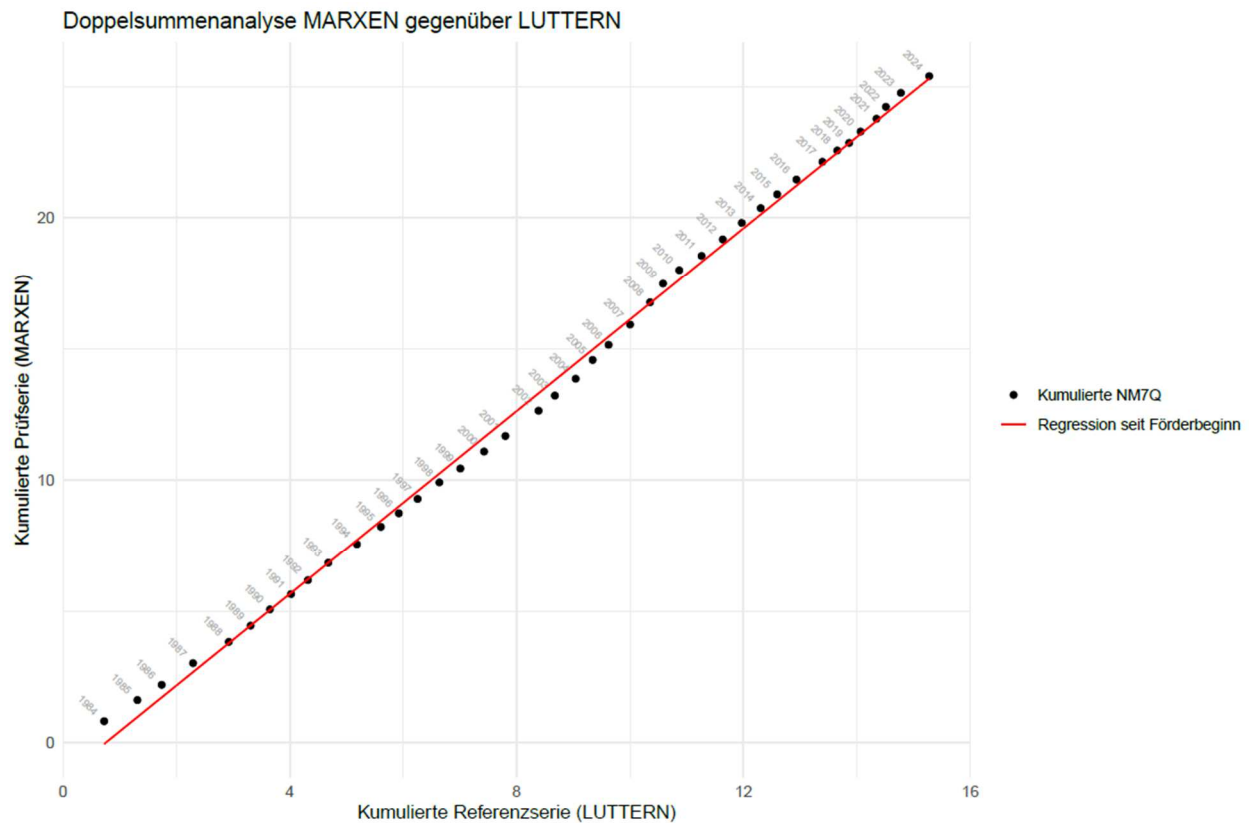


Abbildung 12: Doppelsummenanalyse der NM7Q-Niedrigwasserabflüsse: Pegel Marxen gegenüber Pegel Lutter (Südheide)

Die Ergebnisse der NM7Q-Doppelsummenanalyse sind in Anlage 5 dargestellt. In Tabelle 8 werden die Doppelsummenverläufe beschrieben und bewertet.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich die NM7Q-Niedrigwasserabflüsse in der Nordheide, nicht anders entwickelt haben als am Referenzpegel Lutter in der Südheide. Dies bestätigt, dass die im Untersuchungsgebiet gemessenen zunehmenden Niedrigwasserabflüsse auf andere regionale Ursachen zurückzuführen sind und nicht primär durch die Grundwasserförderung der Hamburger Wasserwerke bedingt sind. Wie bereits oben beschrieben, sind die Ursachen hierfür vor allem in der Witterung sowie in Veränderungen der Landschaftsform und -nutzung zu finden.

Lediglich am Pegel Welle kann die stärkere Steigung der Doppelsummenkurve in den 1990er Jahren mit der Reduzierung der Fördermengen aus Brunnengruppe W1 – W4 in Verbindung gebracht werden, welche zuvor zu einer Abflussreduzierung geführt hatten. Weitere einzelne Abweichungen des linearen Verlaufes der Doppelsummenkurve lassen sich durch die unterschiedlichen Einzugsgebietsgrößen der verglichenen Pegel sowie den Anteil des

Basisabflusses am Gesamtabfluss erklären. Beide Faktoren beeinflussen, wie rasch und in welchem Ausmaß sich trockene bzw. feuchte Jahre auf den NM7Q auswirken.

Tabelle 8: Bewertung der NM7Q-Doppelsummen

Gewässer	Pegel	Beschreibung Doppelsumme	Bewertung
Este	Welle	Flacher Verlauf bis etwa 1993, danach versteilt sich die Doppelsummenkurve	Anfänglicher Fördereinfluss geht durch Fördermengenreduzierung zurück. Seitdem vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie Luttern
	Langeloh	nahezu linearer Verlauf	Vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie Luttern
	Emmen	nahezu linearer Verlauf	Vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie Luttern
Seeve	Inzmühlen/S	nahezu linearer Verlauf, in Trockenjahren etwas steiler bzw. in Trockenjahren etwas flacher	Überwiegend vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie am Pegel Luttern. Hoher Basisabflussanteil in Inzmühlen/S führt zu relativ betrachtet höheren NM7Q in Trockenjahren bzw. relativ betrachtet geringeren NM7Q in Feuchtjahren.
	Thelstorf	nahezu linearer Verlauf	Vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie Luttern
	Jehrden	nahezu linearer Verlauf	Vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie Luttern
Weseler Moorbach	Inzmühlen/W	nahezu linearer Verlauf	Vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie Luttern
Weseler Bach	Kohrs-M1	nahezu linearer Verlauf bis 2007, danach bis 2009 überdurchschnittlich. Ab 2010er Jahren flacherer Verlauf.	Aufgrund des kleinen Einzugsgebietes und geringerem Basisabflussanteil wirken sich Trocken- und Feuchtjahre stärker auf den NM7Q aus, als am Pegel Luttern.
Schmale Aue	Döhle/S	nahezu linearer Verlauf bis 2007, danach bis 2009 überdurchschnittlich. Ab 2010er Jahren flacherer Verlauf.	Aufgrund des kleinen Einzugsgebietes und geringerem Basisabflussanteil wirken sich Trocken- und Feuchtjahre stärker auf den NM7Q aus, als am Pegel Luttern.
	Hanstedt	nahezu linearer Verlauf	Vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie Luttern
	Marxen	nahezu linearer Verlauf	Vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie Luttern
Aubach	Toppenstedt	nahezu linearer Verlauf bis 2007, danach bis 2009 überdurchschnittlich. Ab 2010er Jahren flacherer Verlauf.	Aufgrund des kleinen Einzugsgebietes und geringerem Basisabflussanteil wirken sich Trocken- und Feuchtjahre stärker auf den NM7Q aus, als am Pegel Luttern.
	Wulfsen	nahezu linearer Verlauf	Vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie Luttern
Nordbach	Salzhausen	nahezu linearer Verlauf	Vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie I Luttern
Luhe	Roydorf	nahezu linearer Verlauf	Vergleichbare NM7Q-Entwicklung wie Luttern

5.4.7 Zusammenfassung NM7Q-Trendanalyse

Nachfolgend sind in Tabelle 9 die Ergebnisse der NM7Q-Trendanalyse 2024 zusammengefasst. Um Veränderungen gegenüber den Vorjahren herauszuarbeiten, wurden diese Daten mit den Ergebnissen des im Rahmen des Wasserrechtsverfahrens erstellten Hydrologischen Gutachtens [U 3] verglichen (Auswertungszeitraum bis 2012). Hierbei sind die Abflussmessstellen unterstrichen, bei denen die statistische Auswertung der Daten bis einschließlich des Wasserbilanzjahres 2024 zu einer anderen Bewertung der Signifikanz als im oben genannten Hydrologischen Gutachten [U 3] führte.

Tabelle 9: Zusammenfassung der Ergebnisse der linearen Trendanalyse 2024

<p>Trendentwicklung 1983 – 2024 (Förderzeitraum)</p> <ul style="list-style-type: none"> 11 Abflussmessstellen mit signifikantem Trend, alle Abflussmessstellen haben eine abnehmende Tendenz <i>(<u>Thelstorf</u>, <u>Döhle/S</u>, <u>Hanstedt</u>, <u>Marxen</u>, <u>Toppenstedt</u>, <u>Wulfsen</u>, <u>Inzmühlen/S</u>, <u>Jehrden</u>, <u>Kohrs-M1</u>, <u>Salzhausen</u>, <u>Roydorf</u>)</i> 4 Abflussmessstellen mit nicht signifikantem Trend <i>(<u>Welle</u>, <u>Langeloh</u>, <u>Emmen</u>, <u>Inzmühlen/W</u>)</i>
<p>Trendentwicklung seit 1950/60/70/80er Jahre (gesamter Beobachtungszeitraum)</p> <ul style="list-style-type: none"> 9 Abflussmessstellen mit signifikantem Trend, alle Abflussmessstellen haben eine abnehmende Tendenz <i>(<u>Langeloh</u>, <u>Jehrden</u>, <u>Döhle/S</u>, <u>Hanstedt</u>, <u>Marxen</u>, <u>Toppenstedt</u>, <u>Wulfsen</u>, <u>Salzhausen</u>, <u>Roydorf</u>)</i> 2 Abflussmessstellen mit nicht signifikantem Trend <i>(<u>Welle</u>, <u>Emmen</u>)</i>
<p>Veränderung der Trendentwicklung (gesamter Beobachtungszeitraum vs. Förderzeitraum)</p> <ul style="list-style-type: none"> 8 Abflussmessstellen mit signifikant Trend, in beiden Zeiträumen abnehmende Tendenz <i>(<u>Jehrden</u>, <u>Döhle/S</u>, <u>Hanstedt</u>, <u>Marxen</u>, <u>Toppenstedt</u>, <u>Wulfsen</u>, <u>Salzhausen</u>, <u>Roydorf</u>)</i> 1 Abflussmessstelle mit signifikantem Trend im Gesamtzeitraum, (Tendenz jeweils abnehmend), ohne signifikanten Trend seit Förderbeginn <i>(<u>Langeloh</u>)</i> 2 Abflussmessstellen mit nicht signifikantem Trend in beiden Zeiträumen <i>(<u>Welle</u>, <u>Emmen</u>)</i>

Unterstrichen: Änderung gegenüber hydrologischem Gutachten [U 3]

Für den Förderzeitraum weisen neben der Abflussmessstelle Wulfsen auch die Abflussmessstellen Thelstorf, Döhle/S, Hanstedt, Marxen, Toppenstedt, Inzmühlen/S, Jehrden, Kohrs-M1, Salzhausen und Roydorf einen signifikanten Trend mit negativer Tendenz auf. Der im hydrologischen Gutachten [U 3] für den Auswertungszeitraum bis 2012 an der Abflussmessstelle Welle festgestellte signifikante Trend mit positiver Tendenz wurde 2024 nicht bestätigt.

Für den gesamten Beobachtungszeitraum wurden die im Hydrologischen Gutachten [U 3] ermittelten signifikanten Trends mit abnehmender Tendenz für die Abflussmessstellen Jehrden, Döhle/S, Wulfsen und Salzhausen bestätigt. Im Zuge der Auswertung 2024 wurden auch für die Abflussmessstellen Langeloh, Hanstedt, Marxen, Toppenstedt und Roydorf signifikante Trends mit negativer Tendenz festgestellt.

Im Vergleich zur Auswertung 2012 (Hydrologisches Gutachten [U 3]) wurden in der Auswertung 2024 für den gesamten Beobachtungszeitraum und für den Förderzeitraum erheblich mehr Abflussmessstellen ausgewiesen, deren Daten einen signifikanten Trend zeigen. Die ausgewiesenen Trends waren immer negativ. Diese Entwicklung ist auf die überwiegend niederschlagsarmen Jahre seit 2012 zurückführen. Von 2012 bis 2022 weisen sieben von zehn Jahren Niederschlagsdefizite im Vergleich zum 30-jährigen Mittel von $\geq 8\%$ auf. Nur das Jahr 2017 war in diesem Zeitraum überdurchschnittlich feucht. Dies führt dazu, dass den niederschlagsreichen Jahren zu Beginn der Messreihen eine niederschlagsarme Dekade gegen Ende der Messreihe gegenübersteht.

Die Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse ist im Zusammenhang zu den nachfolgend aufgeführten, den Abfluss der Oberflächengewässer maßgeblich positiv wie negativ beeinflussenden Faktoren zu beurteilen:

- 1) natürliche Faktoren: natürlicher Witterungsgang (Niederschlagsmengen, Niederschlagsart und Niederschlagsverteilung im Jahresverlauf sowie über mehrere aufeinanderfolgende Jahre. Veränderung der Verdunstung).
- 2) anthropogene Ursachen: bei den anthropogenen Wirkungspfaden sind wiederum zwei Möglichkeiten zu unterscheiden.
 - a) direkte Eingriffe: Direkte Entnahmen von Wasser aus den Gewässern, Aufstau oder Rückhalt, Flussbegradigung oder andere bauliche Maßnahmen.
 - b) indirekte Eingriffe: Absenkung der freien Grundwasseroberfläche im obersten Grundwasserstockwerk durch Förderung (Trink- und Brauchwasserbrunnen sowie Entnahmen für die Landwirtschaft), Drainieren von grundwasserbeeinflussten Böden, Veränderung der Landnutzung und damit Veränderung der Grundwasserneubildung (z.B. Aufforstungen, Umwandlung von Ackerland in Grünland, Versiegelung von Flächen durch Bebauung etc.)

Die Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse lässt sich demnach als ein Faktorengemisch aus natürlichen, witterungsbedingten Ursachen, gepaart mit einem gesteigerten Nutzungsdruck der Oberflächen- und Grundwasservorkommen und einer Veränderung der Landnutzung seit den 1950er Jahren erklären.

Durch die NM7Q-Doppelsummenanalyse konnte festgestellt werden, dass sich die NM7Q-Niedrigwasserabflüsse in der Nordheide, trotz vielerorts signifikant negativer Trends, nicht anders entwickelt haben als am Referenzpegel Luttern in der Südheide. Die Interpretation aller Ergebnisse lässt daher den Schluss zu, dass der Einfluss der Grundwasserförderung im Gebiet der Nordheide im Vergleich zur Summe der anderen Einflussgrößen so gering ist, dass er nicht festgestellt werden kann.

6 Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise

Wie in Kapitel 2 beschrieben, werden derzeit Ertüchtigungsmaßnahmen an den Abflussmessstellen durchgeführt. Durch den erfolgreich absolvierten Parallelbetrieb und die Freigabe durch den Landkreis Harburg können die baulichen Ertüchtigungsarbeiten fortgesetzt werden. Ein Abschluss der Ertüchtigung aller zehn Abflussmessstellen ist für 2026 geplant.

Darüber hinaus soll das hydrologische Messnetz alle 5 Jahre bewertet und bei Bedarf an aktuelle Anforderungen angepasst werden. Die aus der Bewertung resultierenden Maßnahmen am Messstellennetz sind mit der Unteren Wasserbehörde des Landkreises Harburg abzustimmen. Bei der Inbetriebnahme der neuen Messtechnik im Jahr 2021, dem mindestens einjährigen Parallelbetrieb und den darauffolgenden Ertüchtigungsarbeiten am Gerinne (2023-2026) wird empfohlen, die erste Bewertung des hydrologischen Messnetzes 5 Jahre nach den Ertüchtigungsarbeiten, d.h. frühestens im Jahr 2028 durchzuführen.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen der Beweissicherung für das WW Nordheide werden durch die HWW an den wichtigsten Vorflutern im Gewinnungsgebiet insgesamt 10 Abflussmessstellen betrieben und unterhalten. Ergänzt um weitere 5 Abflussmessstellen des NLWKN bilden die gemessenen Wasserstände und Abflüsse eine Datengrundlage, um mögliche Beeinflussungen durch den Förderbetrieb der HWW auf die Oberflächengewässer festzustellen. Nach der erfolgten Installation der neuen Messtechnik werden neben dem Wasserstand nun auch Fließgeschwindigkeit und Wassertemperatur gemessen.

Die Niederschlagsentwicklung ist für die Abflussmengen an den Messstellen die wesentliche Größe und überprägt die möglichen Beeinflussungen durch Grundwasserentnahmen maßgeblich, sodass förderbedingte Beeinflussungen nicht festzustellen sind. Während sich der Niederschlag auf alle Abflussbestandteile auswirkt, hat eine Entnahme von Grundwasser durch Förderung ausschließlich Auswirkung auf den grundwasserbürtigen Anteil des Abflusses, also auf den Basisabfluss.

Der Blick in die jüngere Vergangenheit zeigt, dass in den Jahren von 2012 bis 2022 Trockenjahre dominierten. Insbesondere nach den sehr trockenen Jahren 2018 und 2019 lagen die Basisabflussmengen deutlich unterhalb des langjährigen Durchschnitts. Durch das niederschlagsreiche Jahr 2023 stiegen die Basisabflüsse kräftig an und erreichten wieder ein mittleres Niveau. Dank überdurchschnittlicher Niederschläge in der ersten Jahreshälfte 2024 steigen die Basisabflüsse weiter an, näherten sich zum Jahresende aber wieder dem mittleren Niveau an.

Mittels statistischer Trendanalyse wurde die langfristige Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse NM7Q untersucht. Hierbei wurden jeweils der Zeitraum seit Förderbeginn durch die HWW (ab 1983) sowie der Zeitraum der gesamten Messzeitreihe auf Trends untersucht. Es zeigen sich sowohl seit Förderbeginn, als auch über den gesamten Beobachtungszeitraum vorwiegend Trends mit abnehmender Tendenz. Dies gilt sowohl für die potentiell beeinflussten Messstellen im Bereich des WW Nordheide, als auch für die weiter entfernt gelegenen NLWKN-Messstellen des Landesmessnetzes Niedersachsen. Ein Zusammenhang der Trends mit dem Förderbetrieb der HWW kann daher nicht hergeleitet werden.

Zur besseren Einordnung der NM7Q-Trends wurde mittels Doppelsummenanalyse untersucht, wie sich die Niedrigwasserabflüsse in der Nordheide im Vergleich zum Pegel Luttern in der Südheide entwickelt haben. Hierbei konnte festgestellt werden, dass sich die NM7Q-Niedrigwasserabflüsse sehr ähnlich entwickelt haben. Die NM7Q-Trends lassen sich hauptsächlich durch die Witterungsentwicklung erklären, da überdurchschnittlich feuchte Jahre zu Beginn der Messreihen den niederschlagsärmeren Jahren seit 2012 gegenüberstehen.

Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

Abbildung 1:	Lage der Abflussmessstellen und Flussgebiete.....	4
Abbildung 2	Monatsniederschläge des Jahres 2024 im Vergleich zum Vorjahr und zum langjährigen Mittel (DWD-Station Soltau)	8
Abbildung 3:	Abweichungen der Monatsniederschläge der Jahre 2023 und 2024 in Prozent vom langjährigen Mittel (DWD-Station Soltau)	8
Abbildung 4:	Summenkurven des Niederschlags und der potentiellen Verdunstung nach HAUDE für das Jahr 2024 an der DWD-Station Soltau	9
Abbildung 5:	Jahresniederschläge der Jahre 1991 bis 2024 im Vergleich zum langjährigen Mittel (DWD-Station Soltau)	10
Abbildung 6:	Abweichungen der Jahresniederschläge der Jahre 1991 bis 2024 in Prozent vom langjährigen Mittel (DWD-Station Soltau)	10
Abbildung 7:	Schematische Darstellung der Abflussbildung (BAUMGARTNER & LIEBSCHNER) [U 8].....	11
Abbildung 8:	Abflussganglinie des Pegels Marxen für das hydrologische Jahr 2024.....	13
Abbildung 9:	Temperaturganglinie des Pegels Hanstedt für das hydrologische Jahr 2024	15
Abbildung 10:	Ermittlung der gewässerkundlichen Hauptwerte am Beispiel MQ Marxen	17
Abbildung 11:	Entwicklung des Niedrigwasserzeitabflusses NM7Q an der Abflussmessstelle Marxen sowie die Jahresniederschläge als Abweichung vom Mittel (1991 – 2024) an der Station Soltau.....	23
Abbildung 12:	Doppelsummenanalyse der NM7Q-Niedrigwasserabflüsse: Pegel Marxen gegenüber Pegel Luttern (Südheide)	27

Tabellen

Tabelle 1:	Messstellennetz für die hydrologische Beweissicherungsmessstellen.....	5
Tabelle 2:	Monatsniederschläge der DWD-Station Soltau 2015 bis 2024.....	7
Tabelle 3:	Übersicht Niederschläge im Winter 2023 / 2024.....	10
Tabelle 4:	Für die Auswertung ermittelte Gewässerkundlichen Hauptwerte und ihre Bedeutung	16
Tabelle 5:	Zusammenfassung der gewässerkundlichen Hauptwerte 2024 sowie Basisabfluss nach WUNDT	18
Tabelle 6:	Aussagekraft von Messzeiträumen in der Hydrologie (nach DVWK, 1999 [U 5])	21
Tabelle 7:	Ergebnisse der NM7Q-Trendanalyse.....	25
Tabelle 8:	Bewertung der NM7Q-Doppelsummen.....	28
Tabelle 9:	Zusammenfassung der Ergebnisse der linearen Trendanalyse 2024	29

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1 : Beweissicherung Nordheide, Ganglinien der Oberflächengewässer
- Anlage 2 : Tabellen zu den gewässerkundlichen Hauptwerten des Wasserstandes W nach Pegelhandbuch
- Anlage 3 : Tabellen zu den gewässerkundlichen Hauptwerten des Abflusses Q nach Pegelhandbuch
- Anlage 4 : Ganglinien und Trendanalyse des NM7Q
- Anlage 5 : NM7Q-Doppelsummenanalyse

Literaturverzeichnis

- [U 1] BAUMGARTNER, A., & LIEBSCHER, H. J. (1990). Allgemeine Hydrologie: Quantitative Hydrologie. Borntraeger.
- [U 2] BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (2018): Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder – Pegelhandbuch
- [U 3] CONSULAQUA Hildesheim (2014): Hydrologisches Gutachten zur Erneuerung des Wasserrechtes für die Fassungen Nordheide Ost und West sowie die Fassungen Schierhorn der Hamburger Wasserwerke GmbH.
- [U 4] DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU EV (DVWK) (1983): DVWK-Regel 120/1983. Niedrigwasseranalyse. Teil I: Statistische Untersuchung des Niedrigwasser-Abflusses.
- [U 5] DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU EV (DVWK) (1999): DVWK-Merkblatt 251/1999. Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen.
- [U 6] DWD CLIMATE DATA CENTER: Historische tägliche Niederschlagsbeobachtungen für Deutschland, Version v007, 2023.
- [U 7] DWD CLIMATE DATA CENTER: Berechnete tägliche Werte von charakteristischen Elementen aus dem Boden und dem Pflanzenbestand., Version v19.3, 2023
- [U 8] LANDKREIS HARBURG - UNTERE WASSERBEHÖRDE (2019): Gehobene Erlaubnis gemäß § 10 Abs. 1 WHG i.V.m. § 15 WHG; Wasserwerk Nordheide – Grundwasserförderung aus den Brunnen der Fassungen Nordheide West, Nordheide Ost und Schierhorn zum Zwecke der Trink- und Brauchwassergewinnung
- [U 9] NATERMANN, E (1951): Die Linie des Langfristigen Grundwassers (A_{uL}) und die Trockenwetter-Abflußlinie (TWL). – Wasserwirtschaft 1951
- [U 10] WUNDT, W. (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. In: R. Grahmann (Ed.): Die Grundwässer der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung. 47-54. Remagen.