

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 112 (1994)
Heft: 5

Artikel: Blockheizkraftwerke: ein Programm für die Berechnung von Blockheizkraftwerken
Autor: Queloz, Patrick
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78386>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Blockheizkraftwerke

Ein Programm für die Berechnung von Blockheizkraftwerken

Die Elektra Birseck beschäftigt sich seit langem mit den Möglichkeiten der kombinierten Bereitstellung von Wärme und Kraft. Nachfolgend wird ein Computer-Programm vorgestellt, welches eine Entscheidungshilfe bei der Abwägung über den Einsatz von Blockheizkraftwerken (BHKW) liefern will.

Der Einsatz von Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK) als Massnahme zur sparsamen und rationellen Energie-

VON PATRICK QUELOZ,
MÜNCHENSTEIN

nutzung wurde von der Elektra Birseck, Münchenstein (EBM), bereits früh erkannt. In Bauten und Wärmeverbunden mit einem Wärmebedarf von mehr als 1 GWh wird die Erzeugung der Nutzenergie durch WKK-Anlagen vorgezogen. Der gewonnene Strom soll dazu verwendet werden, Liegenschaften ohne Fernwärmeanschluss und einem kleineren Wärmeverbrauch durch den Einsatz von Wärmepumpen zu beheizen. Im Gegensatz zur isolierten Betrachtung einer WKK-Anlage wird durch den kombinierten Einsatz mit einer Wärmepumpe, im Vergleich zu einer konventionellen Heizanlage, rund ein Drittel an Primärenergie eingespart. Damit hilft ein solches System durch die zusätzliche Nutzung von Umweltenergie die Ressourcen einzusparen und die Umwelt durch geringere Schadstoff-

emissionen zu schützen. Der sinnvolle Einsatz einer WKK-Anlage muss jedoch zuerst abgeklärt werden. Als umweltbewusstes Unternehmen befasst sich die EBM schon seit einiger Zeit mit diesem grundlegendem Problem. Leider ist die Realisation einer optimalen und wirtschaftlichen Anlage nicht ganz so einfach. Für die Entscheidung müssen eine Vielzahl an technischen und wirtschaftlichen Parametern berücksichtigt werden.

Im Jahre 1989 stellte die EBM ein PC-Modell für die Entscheidungsfindung beim Einsatz von Blockheizkraftwerken vor. Die Nachfrage nach dem einfach zu bedienenden Programm war gross und die erzielten Resultate, verglichen mit den Werten der später in Betrieb genommenen Anlagen, recht genau. Daraus entstand die Idee, die gewonnenen Erkenntnisse und die neuen Entwicklungen in ein überarbeitetes und erweitertes Programm neu einzubringen. Ein ausschlaggebender Punkt war auch, dass das erste Programm noch mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Lotus 1-2-3 arbeitet, dieses jedoch vielerorts nicht mehr angewandt

und meist durch Excel von Microsoft ersetzt wird. Bei der Entwicklung des Programms wurde darauf Wert gelegt, dass die Bedienung einfach, die Eingaben auf das Nötigste beschränkt bleiben und die Resultate dennoch sehr genau und aussagekräftig sind. Von einem Programm mit allen Details und zusätzlichen, in der Praxis nur selten einsetzbaren Möglichkeiten wurde abgesehen. Diese führen nicht nur zu einer langen Entwicklungszeit und einem damit verbundenen Kostenanstieg, vielmehr wird die Benutzung zeitaufwendiger und komplizierter, und die Resultate werden nur unwesentlich genauer und aussagekräftiger. Das neue Programm soll hier kurz vorgestellt und die Erneuerungen zusammengefasst werden.

Programmbeschreibung

Das Programm mit dem Namen BHKW berechnet aus den Grunddaten einer WKK-Anlage, verbunden mit den Werten zum Wärmebedarf und Klima, die Betriebsdaten. Die Resultate umfassen neben den Angaben zu Betriebszeiten, Strom- und Wärmeproduktion des BHKW auch wirtschaftliche Zahlen sowie einen Schadstoffvergleich. Die wichtigsten Änderungen gegenüber dem ersten Programm sehen wie folgt aus. Durch die Einführung eines Spitzentarifs wurde es notwendig, dass man mit drei, jeweils für Sommer und Winter verschiedenen Tarifzeiten rechnen kann. Zudem können die Tarifzeiten jeweils für Samstag, Sonntag und die Werktage getrennt definiert werden. Der Ertrag aus dem Stromverkauf kann dadurch präzise erfasst werden. Anstelle der früher zu bestimmenden Nachtabsenkung ist neu der Verlauf der benötigten Wärmeleistung über den Tag stundenweise zu definieren. Somit wird dieser besser an den speziellen Wärmebedarf der jeweils zu versorgenden Liegenschaft (Schulhaus, Spital, Altersheim, Wohnhaus usw.) angepasst. Zur Erzielung einer besseren Wirtschaftlichkeit kann der Betrieb des BHKWs während der Niedertarifzeiten gesperrt werden. Um eine wirtschaftliche Beurteilung der Gesamtanlage vorzunehmen, wird neu auch der Spitzenkessel in die Berechnung miteinbezogen.

Immer mehr wird auch der Vergleich zu einer konventionellen Anlage in bezug auf die Schadstoffemissionen als zusätzliche Information verlangt. In der neuen Version wird ein Schadstoffver-

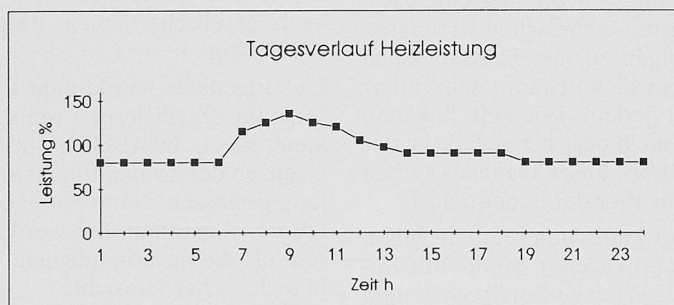
Energiebedarf:

Raumheizung:

Wärmebedarf nach SIA 384/2: 1050 kW

(T innen = 20 Grad C)

(T aussen = -8 Grad C)



Warmwasser:

Tagesbedarf: 300 kWh/Tag

Nachtleistung: 10 % von Tagleistung

Nachtstunden von 18 h bis 7 h

Bild 1. Eingaben Energiebedarf

gleich zu einer neuen und einer alten konventionellen Anlage sowie zu einer Variante, in der der produzierte Strom zum Betrieb einer Wärmepumpe eingesetzt wird, gezogen. Im folgenden werden die erforderlichen Eingabedaten und die daraus berechneten Resultate genauer beschrieben.

Eingabedaten

Bei den einzugebenden Grössen wird unterschieden zwischen Energiebedarf, Anlagedaten, wirtschaftlichen Angaben und Schadstoffwerten. In der Folge soll auf die wichtigsten, zur Berechnung notwendigen Grössen näher eingegangen werden.

Der Energiebedarf wird aufgeteilt auf Heizung und Warmwasser. Für die gewünschte Raumtemperatur ist die notwendige Wärmeleistung bezogen auf die zugrunde gelegte Aussentemperatur anzugeben. Wie bereits erwähnt, ist danach die Leistung zu jeder Tageszeit zu bestimmen. Zur Berücksichtigung von internen Lasten im Gebäude sowie externer Strahlung ist eine obere und eine untere Heizgrenze festzulegen. Der Energiebedarf für Warmwasser ist pro Tag anzugeben, und während der Nacht kann eine reduzierte Leistung berücksichtigt werden. (Bild 1)

Die Anlagedaten gliedern sich auf in Blockheizkraftwerk, Spitzenkessel und Speicher. Von ersterem, dem Kern der Anlage, sind die abgegebene Wärmeleistung, die elektrische Leistung sowie die zugeführte Brennstoffleistung erforderlich. Vom Spitzenkessel ist die Leistung sowie der Wirkungsgrad festzusetzen. Für die Schadstoffbilanz und die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist zudem der Brennstofftyp notwendig. Dabei kann neben Gas und Öl auch ein Zweistoffbrenner eingesetzt werden, wobei die Umschalttemperatur festgelegt werden muss. Beim Einsatz eines Wärmespeichers ist dessen Grösse und Speichertemperatur anzugeben. (Bild 2)

Das Programm berechnet auch die grundlegenden wirtschaftlichen Daten, welche zur Entscheidungsfindung von Bedeutung sind. Dafür werden die Investitionen aufgeteilt auf zwei verschiedene zu bestimmende Amortisationszeiten angegeben. Im weiteren können Reparatur-, Unterhalts- und Verwaltungskosten festgelegt werden. Wie oben beschrieben, kann jetzt auch neu der Stromrücklieferungspreis aufgeteilt auf drei Tarifzeiten, jeweils getrennt für Sommer und Winter, eingegeben werden. Zur Berechnung der Energiekosten wird der Gastarif und, je nach Spitzenkessel, der aktuelle Ölpreis benötigt. Die erzeugte Wärme wird zu

BHKW				
Wärmeleistung	350 kW	64%		
Elektrische Leistung	159 kW	29%	Generatorleistung	170 kW
Brennstoffleistung	543 kW			
Sperzeiten Niedertarif: Für Aussentemp. grösser als			Sommer	Winter
			-10 Grad C	4 Grad C
Spitzenkessel	650 kW	90%	Typ: Gas/Oel	
			Umschalttemp.:	-4 Grad C
Speicher				
Speichertemperatur	85 Grad C			
Speicherinhalt	40 m3			

Bild 2. Eingaben Anlagedaten

Generator, Gasmotor, Kessel, Pumpen, Regelung, Lüftung:				
Investitionen (Fr)	750'000	Abschreibung		50'000
Amortisation (Jahre)	15	Annuitätsfaktor		10.30%
Service BHKW (Rp/kWh el u. a)	4.3			
Bau, Honorare, Speicher, Spengler, Isolationen, Installationen etc.:				
Investitionen (Fr)	515'000	Abschreibung		17'167
Anschlussbeiträge:				
Gas	0			
Elektrisch	0			
Amortisation (Jahre)	30	Annuitätsfaktor		7.26%
Reparaturen/ Unterhalt	1.5 % der Investitionen			
Zinsfuss				
Verwaltungskosten (Fr/Jahr)	12'000			
Rücklieferungspreis Elektrisch:				
		Winter	Sommer	
Spitzentarif Rp/kWh		25	19	
Hochtarif Rp/kWh		19	11	
Niedertarif Rp/kWh		11	7	
Gaspreis:				
Grundpreis	Fr/kWh/Jahr		10	
Arbeitspreis Winter	Rp/kWh		3.4	
Arbeitspreis Sommer	Rp/kWh		2.3	
Wärmepreis:				
Rp/kWh	8.11	Oelpreis:	Fr./100kg	35

Bild 3. Eingaben Wirtschaftlichkeitsdaten

Schadstoffe bezogen auf Abgasmenge 1 Nm3						
	NOx g/Nm3	CO g/Nm3	SO2 g/Nm3	HC g/Nm3	CO2 kg/Nm3	O2 ref %
Oelkessel alt	220	60	336	40	265	3
Oelkessel neu	120	50	336	30	265	3
Spitzenk. Oel	120	50	336	30	265	3
Spitzenk. Gas	80	50	0	10	220	3
BHKW Motor	40	100	0	30	196	5

Bild 4. Eingaben Schadstoffwerte

BHKW	Sommer			Winter			Total
	ST	HT	NT	ST	HT	NT	
Betriebsstunden (h)	161	457	0	500	1'513	1'242	3'873
Wärmeprod. (MWh)	56	160	0	175	530	435	1'355
Stromprod. (MWh)	26	73	0	79	241	197	616
Spitzenkessel	Gas Sommer		Gas Winter		Oel		Total
Wärmeprod. (MWh)	30		826		148		1'005
Wärmebedarf							
Heizung (MWh)	2'250						
Warmw. (MWh)	110						
Total (MWh)	2'360						
Deckungsgrad BHKW: 57%							

Bild 5. Resultate Energiebilanz

Ertrag: (Fr.)				
Elektrizitätsrücklieferung:	100'150	(	16.3 Rp./kWh)	
Wärmelieferung:	191'417	(	8.11 Rp./kWh)	
Total Ertrag:	291'567			
Aufwand: (Fr.)				
Fixe Kosten				
Annuität:			114'636	
Reperatur & Unterhalt:			7'725	
Verwaltungsaufwand:			12'000	
Grundpreis Gas:			11'930	
Total Fixkosten:			146'291	
Variable Kosten				
Energie: BHKW			77'205	
Spitzenkessel			40'400	
Servicekosten:			28'310	
Total Variable Kosten:			145'914	
Total Aufwand:			292'205	
Betriebsergebnis: -639				
Energiepreise:				
Mittlerer Wärme- und Strompreis	9.8 Rp./kWh			
Mittlerer Wärmepreis: (Strom gemäss Rücklieferungstarif)	8.1 Rp./kWh			
Mittlerer Strompreis aus BHKW:	16.4 Rp./kWh			

Bild 6. Resultate Wirtschaftlichkeit

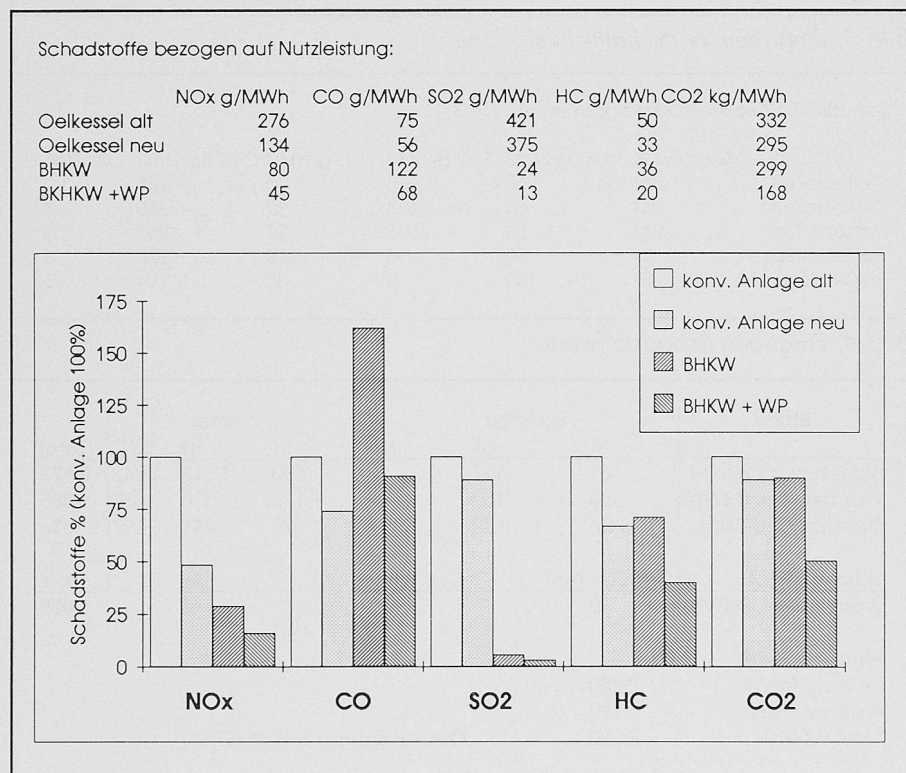


Bild 7. Resultate Schadstoffvergleich

einem festgelegten Preis verrechnet und zum Ertrag gerechnet. (Bild 3)

Zur Berechnung der Schadstoffemissionen der WKK-Anlage sowie der Vergleichsanlagen werden spezifische Abgaswerte zugrunde gelegt. Dabei können die bereits gespeicherten Werte übernommen oder eigene eingegeben werden. Für die Vergleichsvariante BHKW mit Wärmepumpe ist zu bestimmen, welcher Anteil der produzierten elektrischen Energie für die Wärmepumpe eingesetzt wird. (Bild 4)

Resultate

Die Resultate werden aufgeteilt nach Energiebilanz, Wirtschaftlichkeit und Schadstoffvergleich. Dargestellt werden sie zusammen mit den Eingabedaten übersichtlich geordnet auf vier A4-Seiten.

Das Programm berechnet anhand der Klimadaten für jeden Tag die Betriebszeiten der WKK-Anlage. Dabei wird der Einsatz des BHKW derart optimiert, dass die Anlage möglichst während der für die Stromrücklieferung massgebenden Spitzen- und Hochtarifzeiten läuft und auch der Speicher geladen wird. Während der Niedertarifzeiten soll primär der Wärmespeicher entladen werden. Der Spitzenkessel kommt nur zum Einsatz, falls die Wärme aus BHKW und Speicher zur Deckung des Wärmebedarfs nicht ausreicht. Aufgeteilt auf die Tarifzeiten werden die Betriebsstunden sowie Wärme- und Stromproduktion angegeben. Im weiteren wird die Wärmeproduktion des Spitzenkessels, der gesamte Wärmebedarf sowie der Deckungsgrad des BHKW ausgewiesen. (Bild 5)

Anhand der wirtschaftlichen Daten wird ein Betriebsergebnis berechnet. Dieses umfasst den Ertrag abzüglich den Aufwand, wobei dieser detailliert aufgeteilt wird auf feste und variable Kosten. Der Ertrag setzt sich aus den Einnahmen aus Strom- und Wärmeverkauf zusammen. Zur Veranschaulichung werden noch Kenngrössen wie spezifische Wärme- und Stromkosten berechnet. (Bild 6)

Im Vergleich zu einer alten und neuen konventionellen Anlage werden die Schadstoffemissionen für CO, NO_x, HC, SO₂ und für das Treibhausgas CO₂ angegeben. Die Werte beziehen sich auf die Nutzenergie Wärme und werden nicht gewichtet. Das eigentliche Ziel einer WKK-Anlage besteht in der besseren Ausnutzung des fossilen Brennstoffes zur Erzeugung von Wärmeenergie. Dies geschieht, wie bereits erwähnt wurde, durch Verwendung des erzeugten Stroms in Wärmepumpen und damit der zusätzlichen Nutzung von Umwelt-

energie. Um zu zeigen, dass diese Möglichkeit in der Schadstoffbilanz sehr gut abschneidet, wird diese zum Vergleich hinzugezogen. (Bild 7)

Schlussbemerkungen

Das unter dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel arbeitende Programm

BHKW ist so aufgebaut, dass es nach Bedarf weiter ausgebaut und entwickelt werden kann. So wird in Erwägung gezogen, in einer weiteren Version den Einsatz einer Wärmepumpe in die Berechnungen miteinzubeziehen. Alle Interessenten können das Programm gegen Entrichtung eines Unkostenbeitrages bei der Elektra Birseck, Münchenstein, beziehen. Für Auskünfte,

auch über andere, die rationelle und sparsame Energieverwendung betreffende Fragen steht die EBM gerne zur Verfügung.

Verfasser: Patrick Queloz, dipl. Ing. ETH, Elektra Birseck, 4142 Münchenstein (EBM) (Tel. 061/ 415 41 41)

Entwicklung Glattal

Einwohner- und Arbeitsplatzperspektive für die Region Glattal

Die Region Glattal gilt als eine der grössten Wachstumsregionen der Schweiz und dürfte sich aufgrund ihrer hervorragenden Lage zwischen der Stadt Zürich und dem Flughafen Kloten weiterhin überdurchschnittlich stark entwickeln. Als Grundlage für die gegenwärtige Revision des Regionalen Richtplanes Glattal und für die Planung eines neuen öffentlichen Verkehrsmittels (Mittelverteiler) prüfte die Regionalplanung Zürich und Umgebung (RZU), in welchem Rahmen sich die künftige Bevölkerungs- und Arbeitsplatzentwicklung bewegen könnte.

Die Region Glattal hat sich in den vergangenen Jahrzehnten zu einer Grösse entwickelt, die der fünft- bis sechst-

VON MANFRED EGGENBERGER,
ZÜRICH

grössten Stadt der Schweiz vergleichbar ist (Lausanne bzw. St. Gallen). Rechnet man auch die Zürcher Stadtkreise 11 und 12 dazu, ergibt sich eine Region «Zürich-Nord», die mit 200 000 Einwohnern und 110 000 Arbeitsplätzen sogar eine Grössenordnung wie die Stadt Genf oder Basel erreicht. Im Glattal selbst ist die Bevölkerung in den letzten 26 Jahren um rund 60% auf 116 000 Personen angewachsen, die Zahl der Arbeitsplätze hat sich sogar mehr als verdoppelt und erreicht heute 74 000 Vollzeitbeschäftigte und 21 000 Teilzeitbeschäftigte (Bild 1).

Wie sich die Region Glattal bis ins Jahr 2010 oder gar 2030 weiterentwickeln könnte, hat die Regionalplanung Zürich und Umgebung (RZU) im Auftrag der Zürcher Planungsgruppe Glattal untersucht. Im Vordergrund der Studie stehen zwei Szenarien, die sich an den vom Bundesamt für Statistik erstellten Szenarien der Bevölkerungsentwicklung der Schweiz orientieren: Einerseits das Szenario «Kontinuität», das von einer günstigen Wirtschaftsentwicklung ausgeht und mit einem anhaltenden, wenn auch abgeschwächten, weiteren Bevölkerungswachstum (von rund 12% bis ins Jahr 2010) rechnet. Andererseits das Szenario «Stabilisierung», das langfristig auf ein Nullwachstum der Bevölkerung ausgerichtet ist und eine rezessive Wirtschaftsentwicklung widerspiegelt.

tenden, wenn auch abgeschwächten, weiteren Bevölkerungswachstum (von rund 12% bis ins Jahr 2010) rechnet. Andererseits das Szenario «Stabilisierung», das langfristig auf ein Nullwachstum der Bevölkerung ausgerichtet ist und eine rezessive Wirtschaftsentwicklung widerspiegelt.

Bevölkerungsentwicklung

Aufgrund der bisherigen überdurchschnittlichen Zuwachsraten im Glattal in allen Zeitabschnitten des vergangenen Vierteljahrhunderts, angesichts der

enormen Bauzonenreserven und aufgrund der hervorragenden Verkehrslage muss in dieser Region auch künftig mit einem stärkeren Bevölkerungswachstum als im schweizerischen Durchschnitt gerechnet werden. In beiden Szenarien wurde deshalb von um 17% höheren Zuwachsraten ausgegangen als in den entsprechenden schweizerischen Szenarien, d.h. bis zum Jahr 2010 mit Zuwachsraten von rund 0,3 bzw. 0,7% pro Jahr, ab 2010 nur noch im Szenario Kontinuität mit einem weiteren Zuwachs von jährlich 0,2%.

Die Bevölkerung der Region Glattal dürfte den Szenarien zufolge bis im Jahr 2010 von heute 116 000 auf 123 000 bzw. 132 000 Einwohner ansteigen. Im Szenario Kontinuität wächst die Bevölkerung auch in den folgenden Jahren weiter und erreicht schliesslich einen Stand von 137 000 Einwohnern (Bild 2). Im Vergleich zu heute bedeutet dies eine Zunahme um 6 bzw. 13% bis ins Jahr 2010 und um 6 bzw. 18% bis ins Jahr 2030.

Würde sich die Bevölkerung hingegen in einem Ausmass weiterentwickeln, wie dies zwischen 1975 und 1991 der Fall war, dann wäre bis ins Jahr 2030 mit

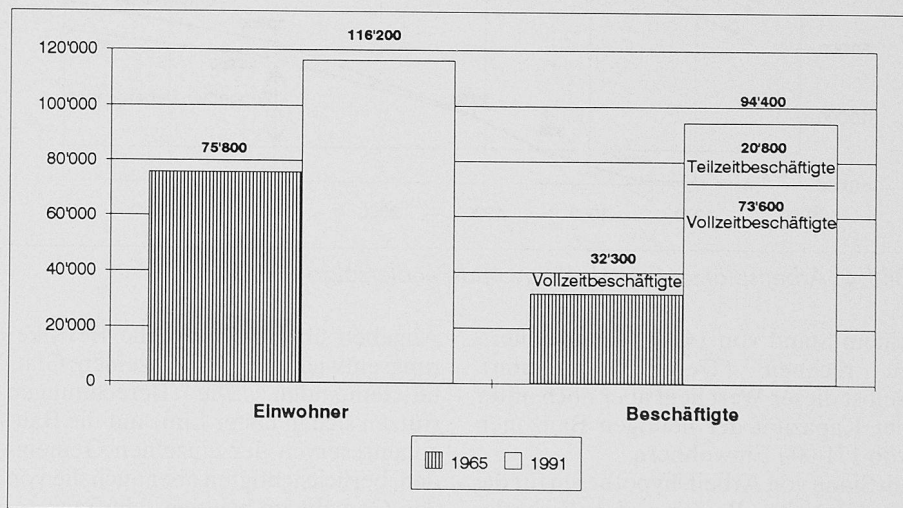


Bild 1. Einwohner und Beschäftigte Glattal 1965 und 1991